

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Metsätalouden koulutusohjelma

Tutkintotyö

Antti Kovettu

**HAKKUUMENETELMÄN VAIKUTUS PONSSE H53e -HAKKUULAITTEEN  
TUOTTAVUUTEEN**

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Tampere 2009

Tuntiopettaja Arto Kettunen

Metsäteho Oy, Kalle Kärhä

Kovettu, Antti. 2009. Hakkuumenetelmän vaikutus Ponsse H53e hakkuulaitteen tuottavuuteen. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelma. 48sivua + 8 liitesivua.

Työn teettäjä	Metsäteho Oy
Työn valvoja	Kalle Kärhä, Metsäteho Oy
Asiasanat	integroitu korjuu, joukkokäsittely, tuottavuus, hakkuumenetelmä, Ponsse H53e

## TIIVISTELMÄ

Harvennuksilta kerättävän energiapuun korjuussa on tällä hetkellä käytössä niin kaato-kasauslaitteita kuin syöttäviä hakkuulaitteita saha-, giljotiini- tai saksikatkaisulla tai näiden yhdistelmällä. Yksikään markkinoilla oleva hakkuulaite ei kuitenkaan ole osoittautunut muita selvästi paremmaksi. Tämän takia käynnissä on edelleen eri valmistajien toimesta käynnissä oleva pieniläpimittaisen puun korjuuseen sopivien hakkuulaitteiden kehittäminen.

Ponssin vastaus haasteeseen on Ponsse H53e joukkokäsittelyominaisuudella, joka pohjautuu vanhaan Ponsse H53 -malliin. Hakkuulaitteesta on muutettu niin karsintateriä, syöttörullia kuin kouran runkoa. Kehitystyön tuloksena on saatu hakkuulaite, jolla onnistuu integroitu korjuu sekä joukkokäsittely vielä 13–15cm:n rinnankorkeusläpimitassa tuottavuuden kärsimättä.

Ponsse H53e -hakkuulaitetta joukkokäsittelyominaisuudella tutkittiin tässä tutkimuksessa yhteensä yhdeksällä koealalla, jotka oli sijoitettu kahdelle leimikolle. Hakkuumenetelminä tutkimuksessa olivat integroitu menetelmä joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäen, ainespuun korjuu joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäen sekä ainespuun korjuu yksinpuin hakkuuna.

Tutkimus osoitti että energia- ja ainespuun integroitu korjuu ei lisää ajanmenekkiä merkittävästi verrattuna pelkkään ainespuun korjuuseen. Integroitu menetelmä nosti kuitenkin koealojen hakkuukertymän kaksinkertaiseksi verrattuna pelkkään ainespuun korjuuseen.

Kovettu, Antti. 2009. Harvesting methods influence to Ponsse H53e harvesterhead productivity. Final Thesis. Tampere University of Applied Sciences, Forestry education program. 48pages + 8 appendices.

Assigned by Metsäteho Oy

Supervisor Kalle Kärhä, Metsäteho Oy

Keywords integrated harvesting, multi-tree handling, productivity, harvesting method, Ponsse H53e

## ABSTRACT

Harvesting energy wood from first thinnings in Finland there is in use several felling- and harvesterheads. None of these devises have been proved to be significantly efficient than others, and therefore development of felling- and harvesterheads for small wood harvesting is still going on.

Ponsse's latest answer to this challenge is Ponsse H53e harvesterhead with multi-tree handling properties. It is based on the old Ponsse H53 harvesterhead, but frame structure, delimbing knives and feed rollers have been modified to meet multi-tree handling requirements. As a result they have created a harvesterhead which allows you to use multi-tree handling up to 13-15cm (diameter breast height) without effect to productivity.

Ponsse H53e harvesterhead was studied in nine test areas which were located into two different stands. Harvesting methods used in this study were integrated pulpwood and energy wood harvesting using multi-tree handling when possible, pulpwood harvesting using multi-tree handling when possible and pulpwood harvesting using single tree handling.

This study showed that integrated harvesting of pulpwood and energy wood doesn't increase time consumption significantly compared to pulpwood harvesting. Another important result of this study was that integrated harvesting of pulpwood and energy wood doubled logging removal compared to pulpwood harvesting. Increasing logging removal without increase in time consumption will have positive effect to harvesting costs and small wood harvesting profitability, which have been poor due to small stem size.

## ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyön aihe tuli tarjolle kesäkuussa 2008, jolloin Kalle Kärhä Metsätehosta otti yhteyttä silloiseen opintolinjamme johtajaan Timo Parkkiseen, joka edelleen välitti tiedon mahdollisesta opinnäytetyöaiheesta opiskelijoille. Aihe vaikutti alusta alkaen mielenkiintoiselta, tarkasti rajatulta ja selkeältä. Aiheen kiinnostavuutta lisäsi oma kiinnostukseni bioenergiaa kohtaan. Itse tutkimuksessa suoritin maastomittaukset koealoilla kokeneen työntutkijan suorittaessa kellotuksen. Opinnäytetyötäni varten sain käyttööni saman aineiston, mikä Metsäteholla on käytössä tästä tutkimuksesta.

Tämä tutkimus ei kuitenkaan ole Metsätehon virallinen tutkimus vaikka Metsäteho onkin työn teettäjä. Tässä tutkimuksessa esitetyt tulokset perustavat omiin laskelmiini ja aineiston analysointiin, joten niissä saattaa olla eroavaisuuksia Metsätehon tekemään tutkimukseen vastaavasta aineistosta johtuen laskentatavasta ja aineiston analysoinnista. Haluan kiittää kaikkia tähän tutkimukseen osallistuneita henkilöitä ja tahoja, jotka ovat osaltaan mahdollistaneet tämän tutkimuksen tekemisen.

Tampereella 05.05.2009

---

Antti Kovettu

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO .....	5
1 JOHDANTO .....	7
1.1 Tutkimuksen tausta .....	7
1.2 Tutkimuksen tavoitteet .....	9
2 TOTEUTUS- JA TUTKIMUSMENETELMÄT .....	9
2.1 Tutkittu hakkuulaite .....	10
2.2 Peruskone ja kuljettaja .....	11
2.3 Aikatutkimusleimikot .....	12
2.4 Mitatut tunnuksat ja tunnusten mittaus .....	15
2.4.1 Koealoilta mitatut tunnuksat .....	15
2.4.2 Työvaihejaottelu .....	16
2.5 Menetelmät .....	18
2.5.1 Integroitu menetelmä .....	18
2.5.2 Joukkokäsittely .....	19
2.5.3 Yksinpuin hakkuu .....	19
2.6 Hakatun puumäärän mittaus .....	19
3 TULOKSET .....	21
3.1 Ajanmenekki .....	21
3.1.1 Ajanmenekin rakenne .....	21
3.1.2 Käsittely- ja tehoajanmenekki .....	24
3.1.3 Keskeytykset .....	29
3.2 Joukkokäsittely .....	30
3.3 Tuottavuus .....	32
3.4 Hakattujen ainepuupölkkyjen laatu .....	35
4 TULOSTEN TARKASTELU JA VERTAILU .....	37
4.1 Aineisto ja menetelmät .....	37
4.2 Tulokset .....	39
5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	45

Antti Kovettu

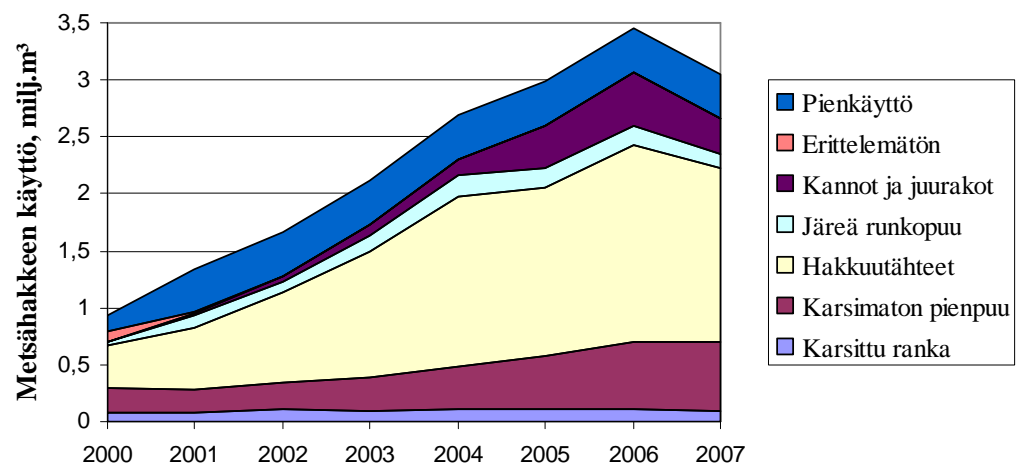
LÄHDELUETTELO .....	46
---------------------	----

LIITTEET

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tutkimuksen tausta

Metsähakkeen käyttö on kasvanut vuoden 2000 vajaasta milj. m<sup>3</sup>:stä vuoden 2007 hieman reiluun kolmeen milj. m<sup>3</sup>:iin (Metinfo). Suurin osuus kasvusta tänä aikana on tullut hakkuutähteiden keräyksen lisääntymisestä, osuuden ollessa vuonna 2007 50 % metsähakkeen kokonaiskäytöstä ja 57 % energialaitosten käyttämästä metsähakkeesta (kuva 1). Suomen pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiassa asetetaan tavoitteeksi uusiutuvien energialähteiden käytön osuuden nosto 28,5 % (vuoden 2005 taso) 38 % vuoteen 2020 mennessä (Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia). Metsähakkeen käytössä nämä tavoitteet tarkoittavat tämänhetkisten käyttömäärien nelinkertaistamista.

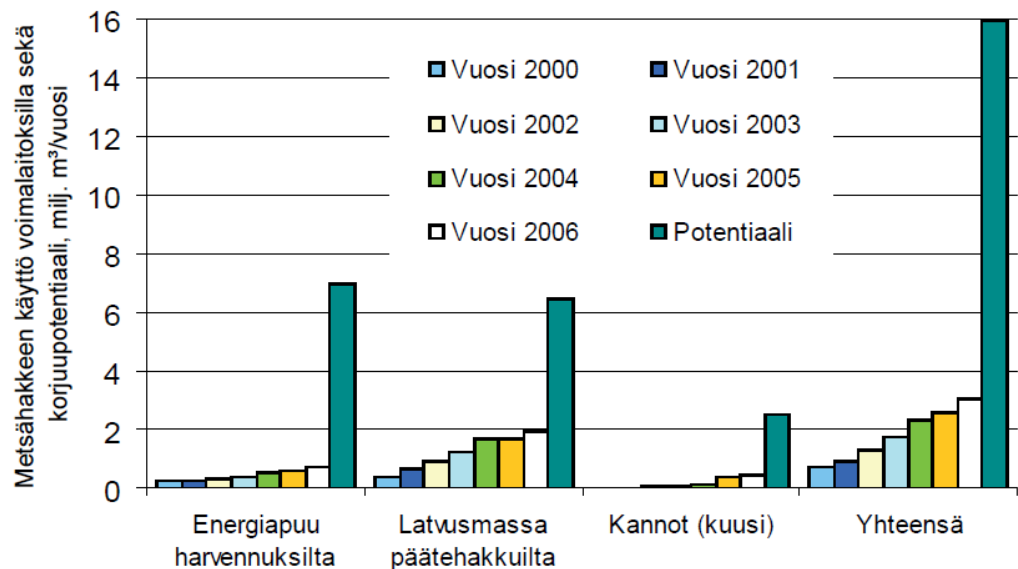


Kuva 1. Metsähakkeen käyttö Suomessa 2000-luvulla (Metinfo).

Tutkimusten mukaan teknisesti korjattavissa olevista nuorten metsien energiapuu potentiaalista on käytössä vain kymmenesosa, kun päätehakkuiden latvusmassasta hyödynnetään tällä hetkellä kolmasosa (kuva 2) (Laitila ym. 2008). Nuorissa metsissä olisikin tällä hetkellä suurin potentiaali metsäenergian käytön lisäämiseen. Yksistään tämä potentiaali hyödyntämällä pystyttäisiin saavuttamaan kansallisen

Antti Kovettu

metsäohjelman 2015 asettamat (8–12 milj. m<sup>3</sup>) tavoitteet energiapuun käyttölle (Kansallinen metsäohjelma 2015). Tämä tavoite on linjassa myös Suomen energia- ja ilmastostrategian kanssa.



Kuva 2. Metsähakkeen käytön kehitys lämpö- ja voimalaitoksissa vuosina 2000–2006 sekä käyttömäärien suhde laskettuun korjuupotentiaaliin valtakunnan tasolla.  
Kuva: Laitila ym. 2008

Energiapuun korjuu harvennuksilta on kannattamatonta ilman valtion tukea. Jos kustannuksia verrataan esimerkiksi päätehakkuiden latvusmassoista tehtyyn hakkeeseen, on harvennuksilta kerätystä energiapuusta tehdyn hakkeen kustannukset 50 % korkeammat (Laitila ym. 2008). Lisää haastetta kannattavuuden parantamiseen korjuumäärien noustessa asettaa korjuun siirtyminen huonommin kannattavammille ja kauempana käyttöpaikasta sijaitseville kohteille. Pienpuuhakkeen heikko kannattavuus on yleisesti tiedossa, ja sen kilpailukyvyyn parantamista korjuumenetelmiä kehittämällä pidetäänkin tärkeänä muun muassa MMM bioenergiatuotannon työryhmän muistiossa (Bioenergia maa- ja metsätaloudessa).

Tässä tutkimuksessa tutkimuksen kohteena oli Ponsse H53e, rullasyöttöinen joukkokäsittelyominaisuudella varustettu hakkuulaite. Hakkuulaitteen joukkokäsittelyominaisuus lisää tuottavuutta pieniläpimittaisessa puustossa. Samaa



Antti Kovettu

hakkuulaitetta voidaan käyttää kuitenkin aina pieniläpimittaiselle uudistushakkuulle asti.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli

- hakkuumenetelmien tuottavuuksien vertailu Ponsse H53e hakkuulaitteella:
  - a)* integroidussa korjuussa (energia- ja ainespuun korjuu joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäen)
  - b)* joukkokäsittelyssä (ainespuun korjuu joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäen)
  - c)* yksipuvin hakkuussa (perinteinen hakkuumenetelmä missä yksi runko/taakka)
- käsittelyajanmenekin laskenta jokaiselle hakkuumenetelmälle
- tuottavuuksien vertailu eri taakkako'oilla

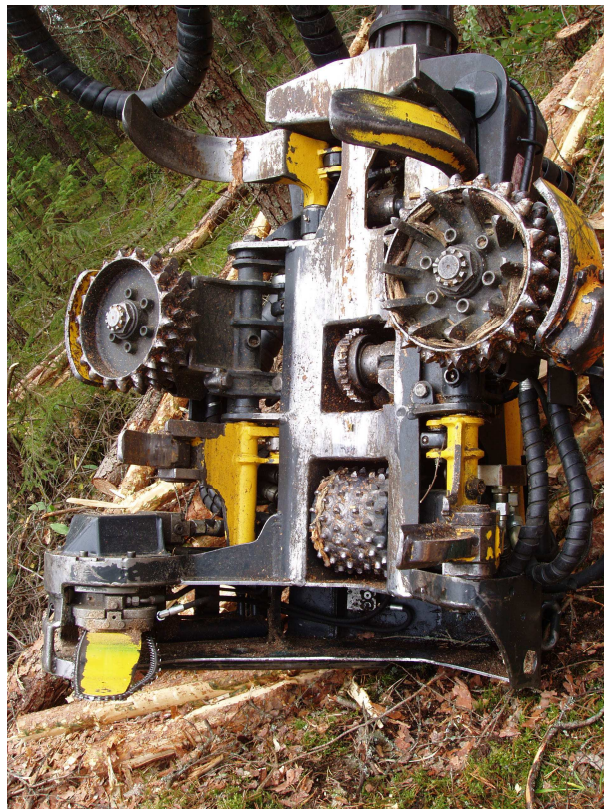
## 2 TOTEUTUS- JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Aikatutkimusaineistot kerättiin 18.–21.8.2008 Lopella UPM-Kymmenen mailla. Aikatutkimuksissa oli käytössä kolme eri hakkuumenetelmää: integroitu korjuu (Int), joukkokäsittely (JK) sekä yksipuvin hakkuu (YP). Jokaista hakkuumenetelmää tutkittiin kolmella koealalla, jotka oli sijoitettu kahdelle leimikolle. Hakattuja koealoja ei rajattu maastoon ennen tutkimusta. Hakatun energia- ja ainespuun kuljetus tehtiin 22.–26.8.2008.

Aikatutkimuksessa korjattiin ainespuuta 179m<sup>3</sup> (182t) ja energiapuuta 47m<sup>3</sup> (40t). Runkoja koealoilta hakattiin yhteensä 4 037. Aikatutkimuskohteita ei rajattu maastoon ennen tutkimusta. Aikatutkimuksen suoritti kaikilla koealoilla sama kokenut työntutkija.

## 2.1 Tutkittu hakkuulaite

Tutkittu hakkuulaite pohjautui Ponssen vanhaan H53 malliin. Hakkuulaitetta oli kehitetty joukkokäsittelyyn sopivaksi muuttamalla takakarsintaterät nivelletyiksi, kuvassa alemmat (kuva 3), jolloin oli mahdollista ottaa taakkaan useampi kuin yksi runko kerralla käsiteltäväksi. Lisäksi syöttörullia oli muutettu paremmin joukkokäsittelyyn sopiviksi leventämällä niitä, harventamalla piikkien jakoa sekä suurentamalla piikkejä. Hakkuulaitetta kehiteltäessä oli kokeiltu erilaisia syöttörullavaihtoehtoja, mutta tässä tutkimuksessa käytössä oli vain kuvissa 3 ja 4 oleva malli. Hakkuulaitteen paino valmistajan tietojen mukaan vaihtelee 850 ja 900 kg:n välillä (Ponsse Oyj). Tutkimuksessa ollut hakkuulaitetta ei punnittu. Hakkuulaitteen katkaisu tapahtui hydraulisella ketjusahalla, maksimi katkaisuläpimitan kertasahauksella ollessa 520mm (Ponsse Oyj).



Kuva 3. Ponsse H53e hakkuulaite joukkokäsittelyominaisuudella. Kuvassa näkyvät hyvin nivelletyt takakarsintaterät sekä kouran pohjan leveä syöttörulla.



Kuva 4. Koura suljettuna, jolloin vetorullien muutokset, kuten kuvassa oikeanpuoleisen vetorullan sivuun asetetut lisä ”hampaat”, näkyvät selkeästi.

## 2.2 Peruskone ja kuljettaja

Peruskoneena tutkimuksessa oli Ponsse Beaver vuosimallia 2007. Kuormain oli p Ponssen oma paralleelikuormain C33 110, 11metrin ulottuvuudella. Koneen painoksi valmistaja ilmoittaa 14 700kg varustuksesta riippuen. Koneessa oli 700-sarjan renkaat nestetäytöllä sekä telat telissä (Olofsfors Eco OF) että ketjut hytin alla olevassa pyöräparissa.

Kuljettajalla oli alalta kuuden vuoden työkokemus. Tänä aikana hän oli toiminut niin ajokoneen, kuin harvesterin kuljettajana. Tutkimuksessa mukana olleella koneella kuljettaja oli hakannut vasta reilun kuukauden, josta joukkokäsittelynä arvionsa mukaan noin 200m<sup>3</sup> ja integroituna hakkuuna noin kaksi viikkoa.





Kuva 5. Ponsse Beaver tutkimusleimikossa 3 (koeala Int3).

### 2.3 Aikatutkimusleimikot

Aikatutkimus toteutettiin kahdella leimikolla, joista toinen oli lähes puhdas männikkö ja toinen sekametsä. Leimikoissa hakattiin yhteensä yhdeksän koealaa, koealojen Int1, JK1, YP1, Int2, JK2 ja YP2 sijoituessa leimikolle yksi, sekä koealojen Int3, JK3 ja YP3 sijoituessa leimikolle kolme. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon että koeala Int3 sijoittui tienreunaan. Tämä tekijä lisäsi koealan valoisuutta, mistä johtui osin suuri puulajin ”muu” osuus. Alun perin koealat oli tarkoitus sijoittaa kolmelle eri leimikolle, mutta tutkimuksessa alun perin mukana olleessa leimikossa kaksi oli liian paljon vaihtelua maaston ja puuston suhteen, joten se täytyi jättää pois tutkimuksesta.

Poistuman keskikoko (runkopuuta/runko) laskettiin koko havaintoaineistosta kaavalla 1 laskettujen runkokohtaisten tilavuuksien keskiarvona ja on siis laskennallinen. Laskennallisen runkokoon vaihtelu tutkimusleimikoiden sisällä

Antti Kovettu

pysyi leimikolla yksi (Int1, JK1, YP1 sekä Int2, JK2 ja YP2) vähäisenä vaihteluvälin ollessa vain seitsemän litraa (taulukko 1). Leimikolla kolme poistuman keskikoon vaihtelu oli huomattavasti suurempaa johtuen muun muassa koealan Int3 runsaasta pienen puuston osuudesta (kuva 6). Alikasvos ei ollut haittaavana tekijänä kummallakaan tutkimusleimikoista.

Taulukko 1. Aikatutkimusleimikoiden korjuuolosuhteet. Poistuman keskikoko on aikatutkimuksesta saatujen läpimittojen sekä leimikoista ennalta mitattujen pituus- ja läpimittatietojen perusteella kaavalla 1 laskettujen tilavuuksien keskiarvo.

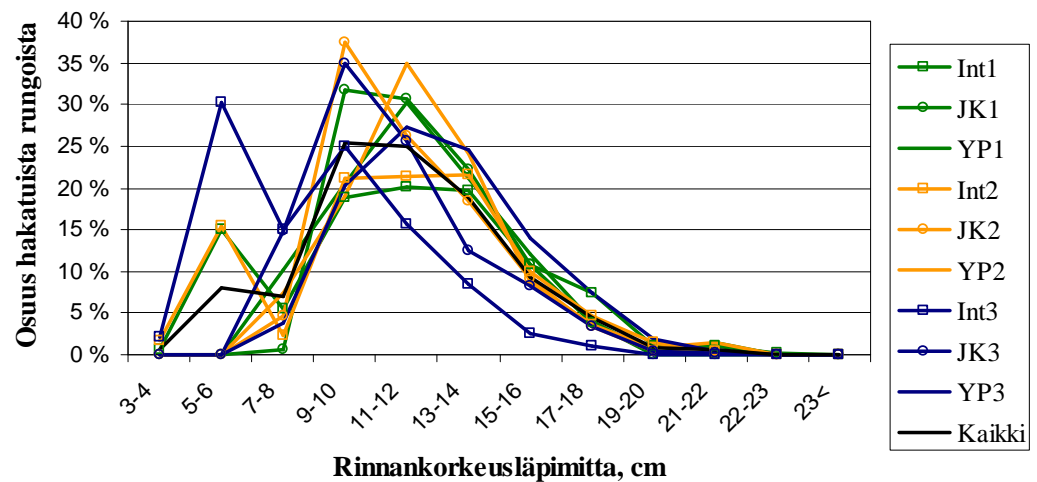
Leimikko	Koeala	Lähtöpuusto, r/ha	Poistuma, r/ha	Hakattu runkoja, kpl	Poistuman keskikoko (laskennallinen), dm <sup>3</sup>	Kertymä, m <sup>3</sup> /ha			Jäävän puuston keskilm, cm
						Ainespuu	Energiapuu	Yhteensä	
1	Int1	2673	1851	569	63,67	72,62	53,90	126,52	14,69
1	JK1	2332	1370	453	65,27	72,83		72,83	13,13
1	YP1	1919	984	317	67,15	56,11		56,11	13,35
1	Int2	2709	1789	593	60,59	70,94	39,64	110,57	13,01
1	JK2	2048	1245	424	61,49	67,26		67,26	13,26
1	YP2	1822	1054	337	67,03	55,12		55,12	14,78
3	Int3	2921	1932	501	37,18	39,94	69,07	109,00	13,12
3	JK3	2182	1278	441	58,06	56,33		56,33	12,44
3	YP3	2070	1084	402	76,31	56,22		56,22	12,12

Poistuman tiheys r/ha vaihteli hakkuutavoittain, kuten saattoikin olettaa, normaalisti raivattavien pieniläpimittaisten runkojen mennessä integroidun menetelmän koealoilla energijakeeseen. Edellisestä johtuen integroidun menetelmän koealoilla poistuma oli keskimäärin 688 r/ha suurempi joukkokäsittelyn ja yksinpuinhakkuun koealoihin verrattuna. Integroidun menetelmän koealojen suurempi poistuma r/ha vaikutti myös lähtöpuustoon sillä se laskettiin lisäämällä jäävään puustoon poistuman tiheys (taulukko 1).

Suurin osa tutkimuksessa hakatuista rungoista (69%) oli rinnankorkeusläpimitaltaan 9-14cm (kuva 6). Integroidun käsittelyn koealoilla läpimitat 9-14cm ei muodostaneet yhtä suurta osuutta, koska energiapuiksi hakattu pieniläpimittainen, rinnankorkeusläpimitaltaan 5–6 cm muodosti 15-30 %

Antti Kovettu

hakatuista rungoista (liite 1). Liitteessä kaksi on esitetty hakattujen runkojen osuus suhteessa rungon kokoon koealoittain.



Kuva 6. Poistuman rinnankorkeusläpimittajakaumat aikatutkimusleimikoittain.

Korjatuista rungoista mäntyä oli 71 % ja koivua 17 %. Kuusta oli 7 %, ja muun puun osuus (4 %) koostui yksinomaan integroidun menetelmän koealoilta hakatuista rungoista. Puulajisuhteet vaihtelivat paljon leimikoiden välillä koivun osuuden ollessa leimikolla kolme, koealoilla Int3, JK3 ja YP3, keskimäärin 35 %. Leimikoiden sisällä koealojen välillä tapahtuneet puulajisuhteiden muutokset eivät olleet yhtä voimakkaita. (Liite 1)

Ajouraväli aikatutkimuksessa oli keskimäärin 17,8 metriä vaihteluvälin ollessa 16,7 metristä 19,4 metriin. Ajouraväli jäi reilusti suosituksissa olevasta 20 metristä (Metsäteho 2003).

Antti Kovettu

## 2.4 Mitatut tunnuksset ja tunnusten mittaus

### 2.4.1 Koealoilta mitatut tunnuksset

Ennen aikatutkimusten aloittamista tutkimusleimikoista mitattiin lukupuut, joko yhdestä puulajista muiden puulajien osuuden ollessa vähäinen (leimikko 1 vain mänty), tai useammasta puulajista jos kyseessä oli sekametsä (leimikko 3 koivu ja mänty). Lukupuista mitattiin rinnankorkeusläpimitta sekä pituus.

Rinnankorkeusläpimitta mitattiin mittasaksilla yhden senttimetrin tarkkuudella. Lukupuiden pituuden mittaukseen käytettiin Haglöfin elektronista puun korkeuden mittaria, ja mittausetäisyyden määrittämiseen metsurin mittaa. Pääsääntöisesti mittausetäisyytenä käytettiin 12 metriä. Lukupuut valittiin sattumanvaraisesti, kuitenkin niin, että yhdeltä mittauspaikalta pyrittiin saamaan havaintoja jokaiselle läpimitalle ja puulajille, mikäli tämä oli mahdollista.

Koealojen hakkuun jälkeen mitattiin seuraavat tunnuksset koealoittain:

- koealan pituus
- koealan leveys
- ajouran leveys
- ajouraväli
- jäävän puuston määrä
- joukkokäsittelyä hyödyntäneiden hakkuumenetelmien Int ja JK koealoilta hakattujen pölkkyjen latvaläpimitta ja pituus

Koealan pituus mitattiin metsurin mitalla 25 metrin pätkissä ajouran keskilinjaa pitkin. Koealan leveyden, ajouran leveyden, ajouravälin ja jäävän puuston määrän mittaus suoritettiin samoin 25 metrin välein ajouran pituuksilla 25m, 50m, 75m, jne. Koealan leveys mitattiin kohtisuorassa uraan nähden käsitellyn alueen laidasta laitaa. Ajouran leveys mitattiin Metsätehon korjuujälki harvennushakkuussa -oppaan mukaan (Metsäteho 2003). Ajouraväli mitattiin kohtisuorassa ajouran keskeltä vieressä olevan lähemmän ajouran keskelle. Jäävän puusto mitattiin ympyräkoealoilta säteen ollessa 3,99 m sijoittamalla joka toinen ympyräkoeala ajouran vasemmalle ja joka toinen oikealle puolelle. Jäävän puuston mittauksessa

Antti Kovettu

otettiin ylös ympyräkoealan sisällä olevien runkojen läpimitat ja lukumäärät. Rajatapauksista (ympyräkoealan ulkoreuna rungon keskellä) laskettiin mukaan joka toinen.

Hakattujen ainespuupölkkyjen latvaläpimittojen ja pituuksien mittaus suoritettiin 10 metrin välein kourakasoista. Joka toinen kasa mitattiin uran oikealta ja joka toinen vasemmalta puolelta. Kasoista mitattiin hakkuukoneen etenemissuunnassa viisi ensimmäistä pölkkyä tai koko kourakasa riippuen siitä oliko kasassa enemmän kuin viisi pölkkyä. Vastaavat tiedot yksinpuin hakkuun koealoilta saatiin hakkuukoneen .stm-tiedostoista.

#### 2.4.2 Työvaihejaottelu

Jokaisesta työvaiheesta kirjattiin työvaihekohtaiset valmisteluajat, valmisteluajkojen järjestysnumerot havaintoyksikön sisällä sekä itse työvaiheen aika että järjestysnumero havaintoyksikön sisällä.

Havaintoyksikkö on yhdelle riville kirjatut työvaiheet yhtä taakkaa kohden. Havaintoyksikkö on sama kuin yksi työsykli, joka alkaa kouran viennistä poistettavan puun tyvelle ja loppuu kun viimeinen ainespuupölkky on katkaistu (vain ainespuun korjuu) tai energiapuutaakka/latva siirretty energiapuukasaan (integroitu menetelmä). Havaintoyksikköön sisältyy siirtymiseen kulunut aika, mikäli kyseessä on työpisteen ensimmäinen havaintoyksikkö/työsykli (yhdellä työpisteellä voi olla useita havaintoyksiköitä/työsyklejä).

##### Siirtyminen

Alkoi, kun hakkuukone lähti liikkeelle työpisteestä, ja päättyi, kun se pysähtyi seuraavalle työpisteelle. Siirtymästä kirjattiin ylös matka.



Antti Kovettu

#### Vienti

Alkoi, kun hakkuulaitetta alettiin siirtää poistettavan puun tyvelle, ja päättyi hakkuulaitteen ollessa puun tyvellä. Viennistä kirjattiin kaadettavan rungon sijainti (uralla/ei uralla) sekä kaadettavan puun etäisyys ajouran keskilinjalta.

#### Kaato

Alkoi, kun hakkuulaite oli tuotu ensimmäisen kaadettavan puun tyvelle, ja päättyi kun viimeisen kouraan kerätyn puun kaatosahaus tehty. Kaadosta kirjattiin puiden määrä hakkuulaitteessa, kaadetun puun puulaji, taakassa olevien kuiturunkojen läpimitat tai energiataakoista keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta työntutkijan arvioimana. Kaato sisälsi mahdollisen kouran asettelun ajan.

#### Karsinta ja katkenta

Alkoi, kun kaatosahaus oli tehty ja päättyi kun viimeinen ainespuupölkky oli katkaistu. Karsinnasta ja katkonnasta kirjattiin kuitupuusta valmistettujen pölkkyjen määrä.

#### Latvan siirto

Alkoi integroidun menetelmän koealoilla, kun viimeinen ainespuupölkky oli katkaistu ja päättyi kun latva oli siirretty energiapuukasaan.

#### Kasaus

Alkoi, kun integroidun menetelmän koealoilla energiapuutaakan kaatosahaus/sahaukset oli tehty ja loppui puutaakan ollessa energiapuukasassa. Aika sisältää mahdollisen energiapuun karsinnan ja katkonnan.

#### Apuajat

Hakkuuta haittaavan alikasvoksen raivaus. Syy kirjattiin.

#### Keskeytykset

Normaalista hakkuutyöstä poikkeavat keskeytykset. Keskeytyksen syy (koneen huolto, korjaus tai häiriö; kuljettaja, tutkimus, muu) kirjattiin.

Antti Kovettu

## 2.5 Menetelmät

Kaikilla hakkuumenetelmillä sekä koealoilla oli käytössä seuraavat apteerausohjeet ainespuulle.

Mäntykuitu:

- latvaläpimitta 4–8 cm
- tavoitepituus 2,7–5,1 m

Koivukuitu:

- latvaläpimitta 4–8 cm
- tavoitepituus noin 3 m

Nämä apteerausohjeet olivat käytössä koska joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäneillä koealoilla ei pystytty mittaamaan pölkkyjen läpimittaa ja pituutta tarkasti (Mäkelä ym. 2002).

Energiapuu korjattiin karsimattomana kokopuuna läpimitat täyttämättömistä rungoista, puulajin ”muu” rungoista sekä ainespuurunkojen latvoista. Energiapuulla ei ollut apteerausohjeita pituuden tai läpimitan suhteen.

### 2.5.1 Integroitu menetelmä

Integroidussa menetelmässä hyödynnettiin joukkokäsittelyominaisuutta niin energia- kuin ainespuun hakkuussa. Jakeet hakattiin erilleen siten että ainespuukasat olivat sijoitettu uran vastaisesti jääneiden puiden väliin. Energiapuukasat taas sijoitettiin pääsääntöisesti ajouran laitaan sen suuntaisesti oksien tullessa karsittaessa suoraan kasalle. Ajouran suuntaisesti sijoitetut energiapuukasat oli sijoitettu jokaiselle koealalla koneen etenemissuunnassa ajouran oikeaan laitaa. Osa energiapuukasoista sijoitettiin uran vastaisesti, jäävien puiden väliin, mutta tämä oli vähemmän käytössä ja kasat tavallisesti pienempiä. Mikäli energiapuutaakkoja tai -runkoja piti katkaista metsäkuljetusta varten, se tehtiin pääsääntöisesti kaadon jälkeen syöttämällä taakkaa tai runkoa haluttuun

Antti Kovettu

katkaisukohtaan. Osa ryppäissä kasvaneista raidoista koealalla Int3 jouduttiin katkaisemaan viemällä koura rungon puoleen väliin ja vasta sen jälkeen tyvelle.

Korjuuohjeiksi energiapuulle kuljettaja sai ohjeen jättää kaikista pienimmät kaatoa haittaamattomat rungot pystyyn, käytännössä  $d_{1,3} < 4$  cm. Lisäksi kuljettajaa ohjeistettiin jättämään 1-2 rungon taakkojen latvat kasaamatta, mikäli latvojen kasalle siirto olisi hidastanut normaalia työskentelyä.

### 2.5.2 Joukkokäsittely

Joukkokäsittelyssä hakattiin vain ainespuuta joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäen. Kuljettaja hakkasi pääsääntöisesti syöttämällä runkoa uralta poispäin, jolloin oksat ja latvat jäivät ajouralle. Etäisyyden kasvaessa runkoja syötettiin myös uraa kohti.

### 2.5.3 Yksinpuin hakkuu

Yksinpuin hakkuun tekniikassa ei ollut mitään normaalista poikkeavaa. Suurin osa puista tuotiin ajouran yli ja karsittiin syöttämällä uralta poispäin, kuten joukkokäsittelyssä latvojen ja oksien jäädessä ajouralle.

## 2.6 Hakatun puumäärän mittaus

Hakattu puumäärä mitattiin jokaiselta koealalta punnitsemalla hakattu puumäärä aines- ja energiapuuositteittain metsäkuljetuksen yhteydessä. Kuormat ajettiin koealoittain punnituksen tapahtuessa kuorman purun yhteydessä Ponsse Load Optimizer -kuormainvaa'alla. Kuormaa purettaessa vaaka rekisteröi jokaisen

Antti Kovettu

kuormatilasta otetun ja kasalle viedyn taakan, jolloin kuorman painoksi tuli purkutaakkojen summa.

Ainespuun tuoretiheys ( $\text{kg/m}^3$ ) määriteltiin yksinpuin hakkuun koealoilta saatujen tilavuustietojen sekä metsäkuljetuksesta saatujen painojen perusteella. Ainespuun tuoretiheyden keskiarvoksi yksinpuin hakkuun koealojen perusteella saatiin  $1\,018\text{kg/m}^3$  koealoittaisen vaihtelun ollessa  $994\text{kg/m}^3$  ja  $1\,040\text{kg/m}^3$  välillä. Energiapuun tuoretiheytenä käytettiin  $850\text{kg/m}^3$  energiapuun mittausoppaan mukaan (Lindblad ym. 2008).

Ennen jokaisen kuorman purun aloittamista vaaka taarattiin. Vaa'an tarkkuutta seurattiin metsäkuljetuksen aikana tekemällä kalibrointipunnituksia  $480\text{kg}$  painavalla ainesputkella. Kalibrointiin kuului kymmenen nostoa kuormatilasta ”pinolle”. Tarkkuutta seurattiin myös kuormien purun yhteydessä taaraamalla vaaka ja nostamalla ainesputki ilmaan kuormatilan ulkopuolella.

Käsittelyajanmenekkiyhtälössä käytetyt tilavuudet laskettiin Laasasenahon tilavuusyhtälöllä kaava 1 (Laasasenaho, J. 1982; liite 8). Pituustietona käytettiin leimikoittain kerättyjen lukupuiden pituus- ja läpimittatietojen perusteella muodostettua Näslundin pituusmallia kaava 2 (Näslund, M. 1936; liite 7). Näslundin pituusmallin käyrä sovitettiin havaintoihin Excel-solverilla minimoimalla erotusten neliösummaa. Tilavuusyhtälössä tarvittavat puulaji sekä rinnankorkeusläpimitta saatiin työntutkijan keräämistä tiedoista.

$$\begin{aligned} &\text{Laasasenahon tilavuusyhtälö} && (1) \\ &\text{Mänty } (v) = 0,036089 * d^{2,01395} * (0,99676)^d * h^{2,07025} * (h-1,3)^{-1,07209} \\ &\text{Kuusi } (v) = 0,022927 * d^{1,91505} * (0,99147)^d * h^{2,82541} * (h-1,3)^{-1,53547} \\ &\text{Koivu } (v) = 0,011197 * d^{2,10253} * (0,98600)^d * h^{3,98519} * (h-1,3)^{-2,65900} \end{aligned}$$

missä

$v$  = rungon tilavuus,  $\text{dm}^3$

$d$  = rinnankorkeusläpimitta, cm

$h$  = pituus, m

Antti Kovettu

Näslundin pituusmalli (2)

$$h = 1,3 + d^2 / (a + b \cdot d)^2$$

missä

 $h$  = pituus, m $d$  = rinnankorkeusläpimitta, cm $a, b$  = muuttujien kertoimet

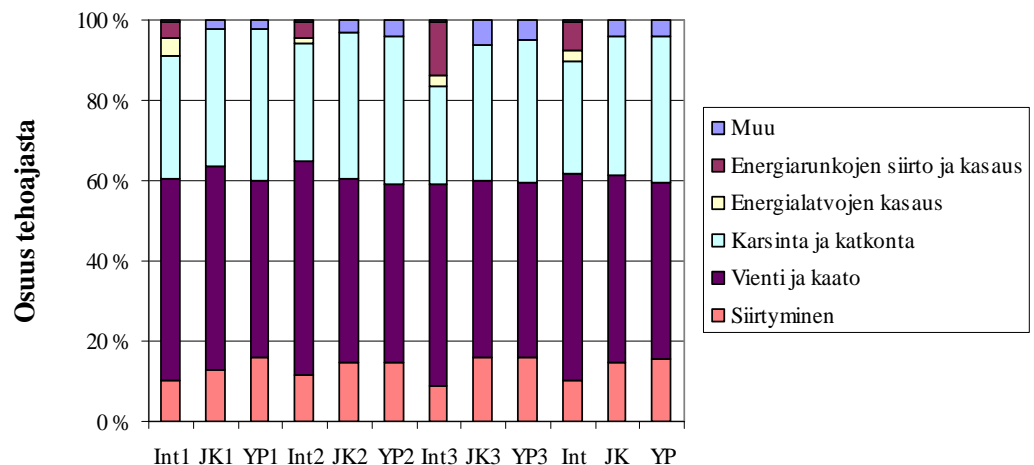
### 3 TULOKSET

#### 3.1 Ajanmenekki

##### 3.1.1 Ajanmenekin rakenne

Eniten aikaa kaikissa yhdeksässä koealassa vei vienti- ja kaato -työvaihe, joka kulutti koealasta riippuen 44 – 55 %:iin tehoajasta (kuva 7). Hakkuumenetelmittäin tämä työvaihe vei eniten aikaa integroidussa korjuussa (51 %) ja vähiten yksin puin hakattaessa (44 %), joukkokäsittelyn sijoituessa kutakuinkin näiden puoleenväliin (47 %). Kaadettujen puiden etäisyys urasta ei vaihdellut paljoa koealojen välillä keskiarvon ollessa 4,7 metriä ja koealakohtaisten etäisyyksien pysyessä noin puolen metrin sisällä koko aikatutkimuksen keskiarvosta.

Antti Kovettu



Kuva 7. Hakkuun tehoajanmenekkejakaumat aikatutkimusleimikoissa

Toiseksi aikaa vievin työvaihe oli karsinta ja katkonta, eli prosessointi, minkä osuus tehoajasta vaihteli 24 %:sta 38 %:iin koealojen välillä. Korkeimmat prosessoinnin osuudet (37 %) tehoajasta, oli yksinpuin hakkuussa. Tarkasteltaessa työvaiheittaisia osuuksia tehoajasta on muistettava, että vain integroidun korjuun pylväissä on mukana energiapuun prosessointiin kuluva aika. Jos integroidun korjuun pylväistä poistettaisiin energiapuun prosessointi, niin muut osuudet suurenisivat. Tämä ei kuitenkaan vaikuttaisi hakkuumenetelmien järjestykseen tarkasteltaessa työvaiheittaisia osuuksia tehoajasta.

Integroidun korjuun koealoilla energiapuun prosessointiin eli energiारunkojen siirtoon ja kasaukseen sekä energialatvojen kasaukseen meni keskimäärin 10 % tehoajasta. Osuus tehoajasta olisi ollut pienempi, ellei Int3–koealan energiapuun osuus hakkuukertymästä olisi ollut niin suuri (63 %). Suuri energiapuu kertymä Int3-koealalla selittyy sillä että koealan kaikki raidat ja haavat kerättiin energiapuuksi. Puulajin ”muu” taakoista kertyikin 20 % koealan Int3 taakoista (liite 1).

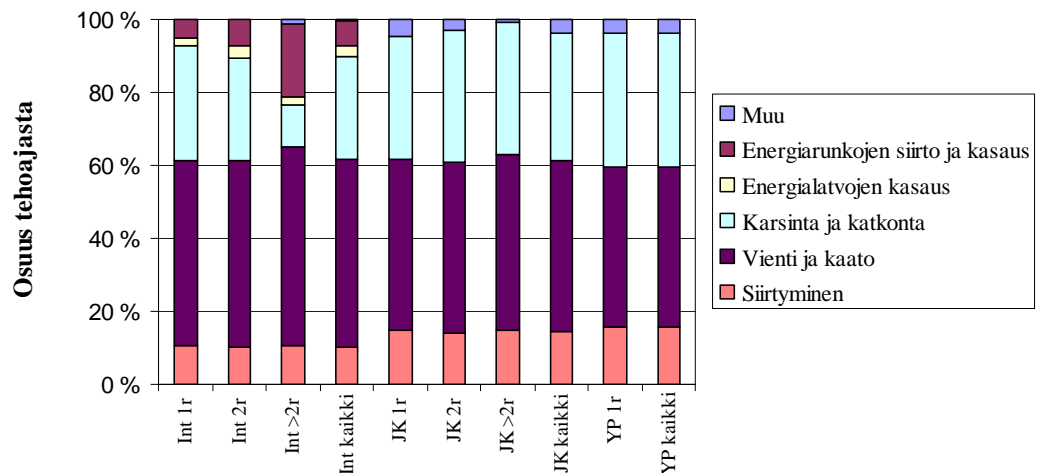
Siirtymien osuus tehoajasta koealojen välillä vaihteli 9–16 %:n välillä keskiarvon ollessa 13 %. Keskimääräinen siirtymä koaloittain vaihteli 1,9 ja 2,2 metrin välillä. Aikaa yhteen siirtymään käytettiin keskimäärin 17 cmin.

Antti Kovettu

Tehoajanmenekistä muihin työvaiheisiin, eli tässä aikatutkimuksessa pelkästään alikasvoksen raivaukseen, kului joukkokäsittelyn ja yksinpuin hakkuun koealoilla keskimäärin 4 %. Integroidun korjuun koealoilla raivaukseen kulunut aika oli alle 1 %, eikä siksi näy kuvassa 7.

#### *Taakkakoon vaikutus ajanmenekin rakenteeseen*

Taakkakoon vaikutus tekoajanmenekin jakautumiseen näkyy lähinnä integroidun korjuun energiarunkojen siirrossa ja kasauksessa (kuva 8). Energiarunkojen siirron ja kasauksen osuus kasvoi integroidussa korjuussa yhden rungon taakkojen 2–9 %:sta yli kahden rungon taakkojen 14 – 27 %:iin. Tähän vaikuttaa Int3-koealan suuri energiapuun osuus joka suurentaa siirron ja kasauksen osuutta, sekä joukkokäsittelyn hyödyntäminen etenkin energiarunkojen käsittelyssä (taulukko 1, liite 1, kuva 8). Suuremmasta taakkakoosta johtuen viennin ja kaadon osuus kasvaa integroidulla menetelmällä yli kahden rungon taakoissa, karsinnan ja katkonnan osuuden pienentyessä. Kuvaa ja tuloksia tarkasteltaessa pitää ottaa kuitenkin huomioon että yli kahden rungon taakkojen määrä integroidussa menetelmässä on vain noin 6 % taakoista ja joukkokäsittelyssä noin 3 % taakoista (kuva 13).



Kuva 8. Tehoajanmenekijakauma eri taakoilla ja hakkuumenetelmillä.

Antti Kovettu

## 3.1.2 Käsittely- ja tehoajanmenekki

*Laskenta*

Rungon käsittelyajanmenekki laskettiin Metsätehon yhtälöllä (kaava 3) (Kärhä ym.2006) koealoittain ja hakkuumenetelmittäin. Käyrä sovitettiin aikatutkimuksesta saatuihin arvoihin Excelin solverohjelmalla siten että parametri c pakotettiin olemaan pienempi tai yhtä suuri kuin yksi. Parametrit a, b, d ja e saivat vaihdella vapaasti. Lisäksi solverin asetuksissa kohta arviot asetettiin neliöllisiksi, koska käytössä oli logaritminen yhtälö. Parametrien a, b, c, d ja e lähtöarvoiksi asetettiin 0, jotta ennakoarvauksella ei olisi ollut vaikutusta parametrien lopullisiin arvoihin. Käyrä sovitettiin koko koealoittaiseen käsittelyajanmenekki aineistoon, eikä mallinnuksessa tehty rajausta rungon koon suhteen. Laskennassa jokaisesta rungosta tuli oma havaintopisteensä. Mikäli taakassa oli enemmän kuin yksi runko, käsittelyajanmenekki jaettiin tällöin runkomäärällä, jolloin jokaiselle taakan rungolle tuli sama käsittelyaika läpimitasta riippumatta. Muodostamalla jokaisesta rungosta oma havaintopiste saatiin havaintoparven tiheys vastaamaan todellisuutta.

$$y = a + b \cdot \ln(x - c) + d \cdot \exp(e - x) \quad (3)$$

missä

 $y$  = rungon käsittelyajanmenekki, cmin/r $x$  = kokopuurungon koko, dm<sup>3</sup> $a, b, c, d, e$  = muuttujien kertoimet

Käsittelyajanmenekkiin laskettiin joukkokäsittelyssä ja yksinpuinhakkuussa hakkuulaitteen vienti, kaato, karsinta ja katkonta. Integroidussa menetelmässä oli käsittelyajanmenekissä edellä mainittujen vaiheiden lisäksi energialatvojen kasaus, sekä energiarunkojen siirto ja kasaus.

*Käsittelyajanmenekki hakkuumenetelmittäin*

Vertailtaessa käsittelyajanmenekkejä hakkuumenetelmittäin eri koealoilla huomataan selvästi, että koealat 7, 8 ja 9 hakattiin eri leimikolla. Integroidun

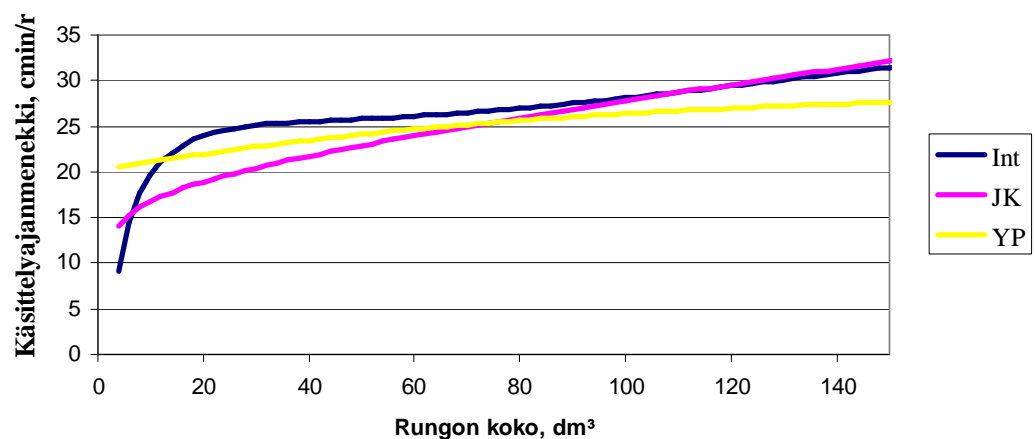


Antti Kovettu

korjuun Int1 ja Int2 koealat hakattiin samalla leimikolla ja käsittelyajanmenekistä syntyneet käyrät olivat lähes toisiaan vastaavat. Eri leimikolla olleen koeala Int3:n 50dm<sup>3</sup> rungon käsittelyajanmenekki oli 6,5 cmin/r (27 %) korkeampi, verrattaessa koealojen Int1 ja Int2 keskiarvoon vastaavalla runkokooalla (Liite 3). Myös joukkokäsittelyn koealoilla voitiin huomata sama asia, eli leimikon yksi koealoilta JK1 ja JK2 saatiin kohtuullisen samanlaiset käyrät, joista eri leimikolla sijainneen JK3 koealan käyrä erosi (Liite 3). Tämä sama ilmiö oli huomattavissa myös yksinpuin hakkuun koealoilla, YP3:n käyrän erotessa koealojen YP1 ja YP2 käyristä (Liite 3).

Vaikka leimikoilla sijainneiden koealojen Int3, JK3 ja YP3 käsittelyajanmenekit erosivatkin jonkin verran toisella leimikolla sijainneiden koealojen arvoista, muodostettiin silti käsittelyajanmenekkiä käyrät hyödyntäen koko aineistoa.

Käsittelyajanmenekkejä tarkasteltaessa hitain menetelmä käyrien perusteella on integroitu hakkuu (kuva 9). Integroidun menetelmän käyrää tarkasteltaessa on kuitenkin muistettava, että käsittelyajanmenekissä on mukana myös energialatvojen kasaaminen sekä energiarunkojen siirto ja kasaaminen.



Kuva 9. Käsittelyajanmenekki hakkuumenetelmittäin.

Alle 75dm<sup>3</sup> rungoilla joukkokäsittelyn ajanmenekki on muita pienempi. Tästä suuremmilla rungoilla pienin käsittelyajanmenekki oli yksinpuin hakkuussa (kuva9). Joukkokäsittelyn ja integroidun korjuun ajanmenekkiä käyrät kohtasivat

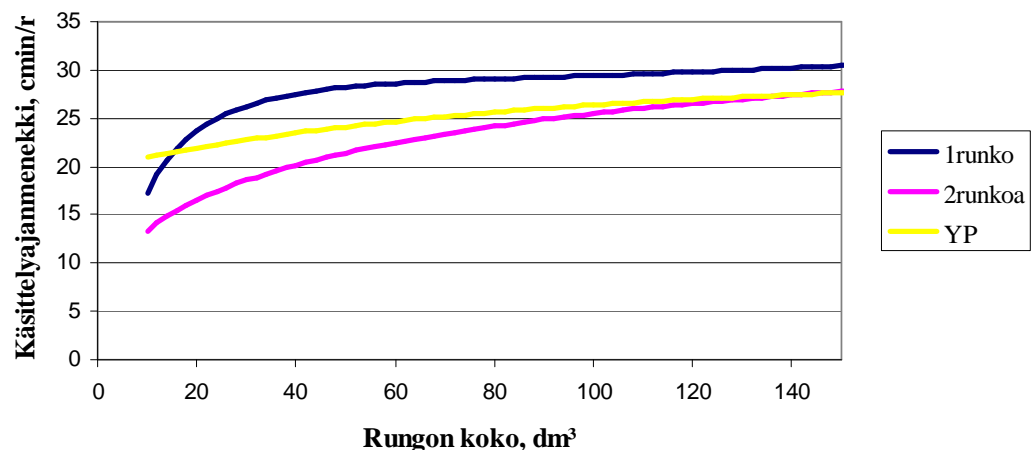
Antti Kovettu

toisensa 110 dm<sup>3</sup> kohdalla joukkokäsittelyn käyrän jatkaessa nousuaan integroitua korjuuta jyrkemmin.

Integroidussa korjuussa havaintopisteistä oli 50 % 5 cmin, 28 % 2,5 cmin ja 16 % 1,5 cmin sisällä ajanmenekkiyhtälön käyrästä. Vastaavasti joukkokäsittelyssä havaintopisteistä 57 % 5 cmin, 32 % 2,5 cmin ja 19 % 1,5 cmin sisällä. Yksinpuin hakkuussa tulokset olivat hyvin samanlaiset arvojen ollessa 56 % 5 cmin, 28 % 2,5 cmin ja 17 % 1,5 cmin. (Liite 3)

#### *Taakkakoon vaikutus käsittelyajanmenekkiin*

Alla olevassa kuvassa (kuva 10) käsittelyajanmenekkiäyrät on muodostettu integroidun menetelmän ja joukkokäsittelyn yhdistetystä aineistosta. Integroidun käsittelyn aikoihin on laskettu mukaan samat tekijät kuin joukkokäsittelyssä (3.1.2 kappale 2), jotta tarkasteltava aineisto olisi samoin muodostettu. Aineistot yhdistettiin, jotta saataisiin riittävästi havaintopisteitä. Pienestä aineistosta johtuen kolmen, neljän ja viiden rungon taakkojen käyrät jätettiin tekemättä (kuva 13). Myös kuvan 10 käyrät on muodostettu koko havaintoparvista 1r ja 2r, eikä mallinnusta ole rajattu tietylle runkokoolle.



Kuva 10. Käsittelyajanmenekki eri taakkako'illa integroidun ja joukkokäsittelyn yhdistetystä aineistosta.

Kuvasta 10 huomataan kuinka joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäneiden hakkuutapojen (integroitu korjuu ja joukkokäsittely) yhden rungon taakat ovat

Antti Kovettu

hitaampia yli 16 dm<sup>3</sup> rungoissa verrattuna yksinpuin hakkuuseen. Kahden rungon taakoissa käsittelyajanmenekit ovat yksinpuin hakkuuta pienemmät alle 140 dm<sup>3</sup> runkokoollla, minkä jälkeen yksinpuin hakkuu on nopein hakkuumenetelmä.

### *Hakkuun tehoajanmenekki*

Hakkuun tehoajanmenekki laskettiin kaavalla 4

$$y = x_1 + x_2 + x_3 \quad (4)$$

$y$  = tehoajanmenekki, cmin/r

$x_1$  = työpistesiiirtyminen, cmin/r

$x_2$  = rungon käsittelyajanmenekki, cmin/r

$x_3$  = apuajat, cmin/r

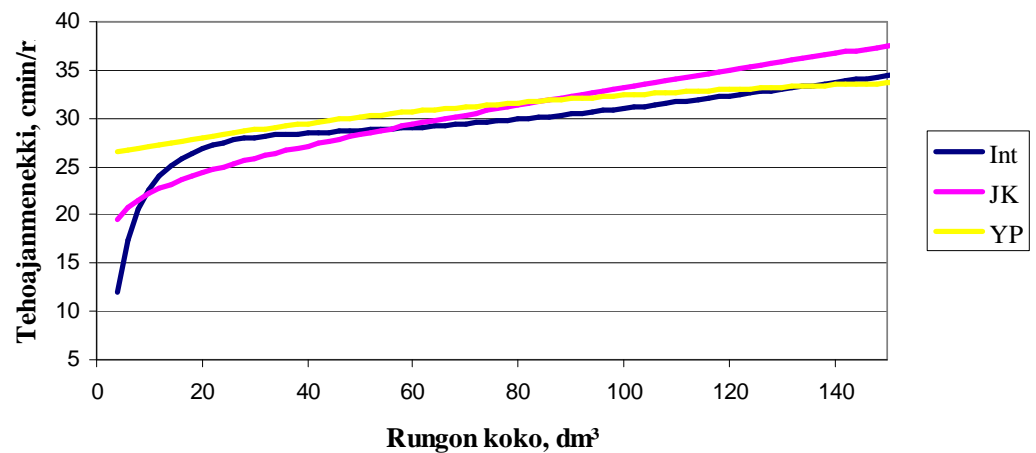
Tehoajanmenekkiä laskettaessa kaikille hakkuumenetelmille määriteltiin omat apuajat ja työpistesiiirtymiset, koska menetelmien välillä oli eroja tehoajanmenekin rakenteessa (taulukko 2). Pääsyynä tähän ratkaisuun oli integroidun menetelmän apuaikojen lähes täydellinen puuttuminen, alle 1 % osuus tehoajanmenekistä (kuva 7). Joukkokäsittelyssä ja yksinpuinhakkuussa arvot olivat lähellä toisiaan, mutta selvyuden vuoksi näillekin hakkuumenetelmille laskettiin omat aikansa.

Taulukko 2. Siirtymis- ja apuajat hakkuumenetelmittäin

	Int	JK	YP
Siirtyminen, cmin/r	0,08	1,13	1,19
Apuajat, cmin/r	2,86	4,29	4,82

Kuva 11 osoittaa integroidun korjuun olevan nopein menetelmä kaikkein pienimmillä alle 10dm<sup>3</sup> rungoilla. Runkokoon ollessa 10 – 56 dm<sup>3</sup> pienin tehoajanmenekki on joukkokäsittelyssä. Runkokoon ylittäessä 135 dm<sup>3</sup> nopein hakkuutapa on yksinpuin hakkuu. Hakkuutapojen erot ovat koko tarkasteluvälillä hyvin pieniä, maksimissaan alle 4 cmin/r, lukuun ottamatta alle 20dm<sup>3</sup> runkoja.

Antti Kovettu

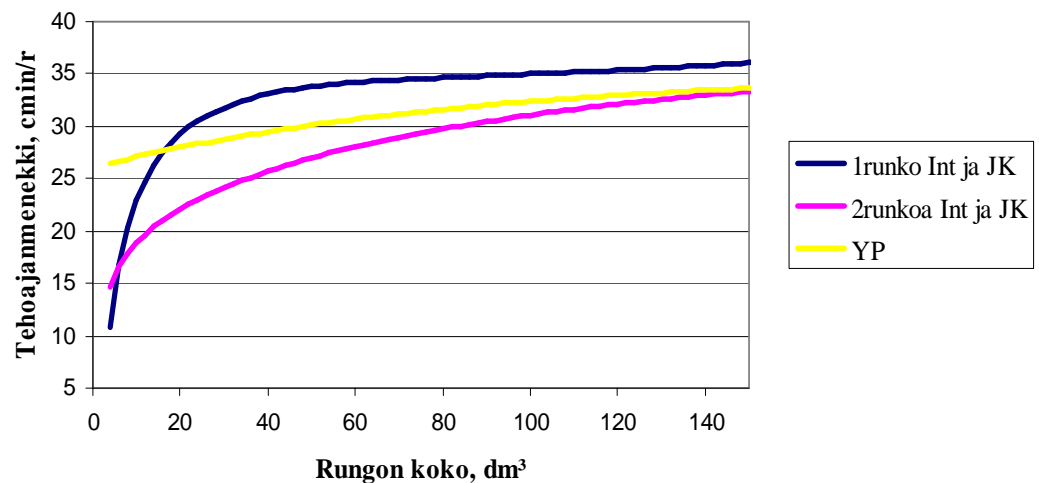


Kuva 11. Tehoajanmenekki hakkuumenetelmittain

*Tehoajanmenekin laskenta Int ja JK koealojen yhdistetystä aineistosta*

Kuvassa 10 (s.23) esitetyistä yhden ja kahden rungon taakkojen käsittelyajanmenekeistä muodostettiin tehoajanmenekit lisäämällä käsittelyajanmenekkiin integroidun menetelmän ja joukkokäsittelyn koealojen yhdistetystä aineistosta siirtymisen aika cmin/runko ja apuaika cmin/runko. Tämän lisäksi tehoajanmenekin saamiseksi edelliseen täytyi vielä lisätä integroidusta menetelmästä johtuen energiapuun prosessoinnista johtuva aika cmin/runko. Tämä aika saatiin, laskemalla yhteen integroidun menetelmän koealojen energiarunkojen siirto ja kasaus sekä energialatvojen kasaus, joista saatu summa jaettiin integroidun menetelmän ja joukkokäsittelyn yhteenlasketulla runkomäärällä.

Antti Kovettu



Kuva 12. Tehoajamenekki eri taakkako'oilla integroidun ja joukkokäsittelyn koealoilla

### 3.1.3 Keskeytykset

Aikatutkimuksessa alle 15 min keskeytyksiä oli keskimäärin 8,4 % tehoajasta. Integroidun menetelmän sekä joukkokäsittelyn koealoilla keskeytysten osuus oli hieman yksinpuin hakkuun koealoja suurempi (Int 8,8 %; JK 8,6 %; YP 7,7 %).

Pääosin lyhyisiin keskeytyksiin oli syynä korjaus- ja huoltotyöt (ketjun vaihto), mistä koostui 60 % lyhyistä keskeytyksistä. Kuljettajasta (tauot) aikaututkimuksessa aiheutui 35 % lyhyistä keskeytyksistä. Loput lyhyistä keskeytyksistä koostui muun muassa puheluista ja koneen käännöstä.

Integroidussa menetelmässä korjaus- ja huoltotöihin kului 93 % kaikista tämän menetelmän lyhyistä keskeytyksistä. Joukkokäsittelyssä korjaus- ja huoltotöiden osuus lyhyistä keskeytyksistä oli 46 % ja yksinpuin hakkuussa 24 %.

Antti Kovettu

## 3.2 Joukkokäsittely

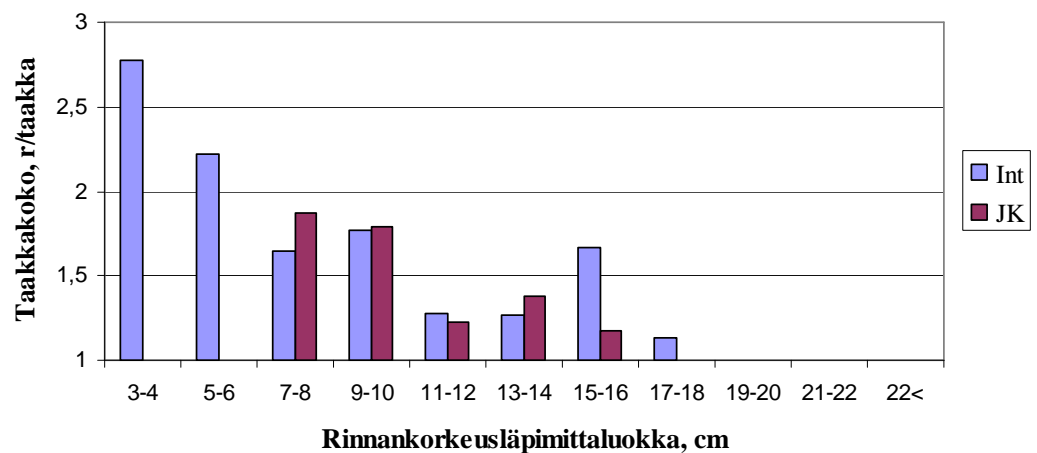
Taakkakoko vaihteli aikatutkimusleimikoissa integroidussa korjuussa 1,45 ja 1,65 runkoa/taakka keskiarvon ollessa 1,55 runkoa/taakka (taulukko 3).

Joukkokäsittelyssä taakkakoot olivat pienemmät, vaihdellen 1,38 ja 1,48 välillä keskimääräisen taakkakoon ollessa 1,42 runkoa/taakka.

Taulukko 3. Joukkokäsittelyprosentti koealoittain ja hakkuutavoittain

	Int1	JK1	Int2	JK2	Int3	JK3	Int	JK	Yht.
% rungoista	73 %	62 %	68 %	56 %	56 %	53 %	66 %	57 %	62 %
% taakoista	56 %	44 %	50 %	38 %	37 %	35 %	48 %	39 %	44 %
Runkoa/taakka	1,65	1,48	1,55	1,41	1,45	1,38	1,55	1,42	1,49

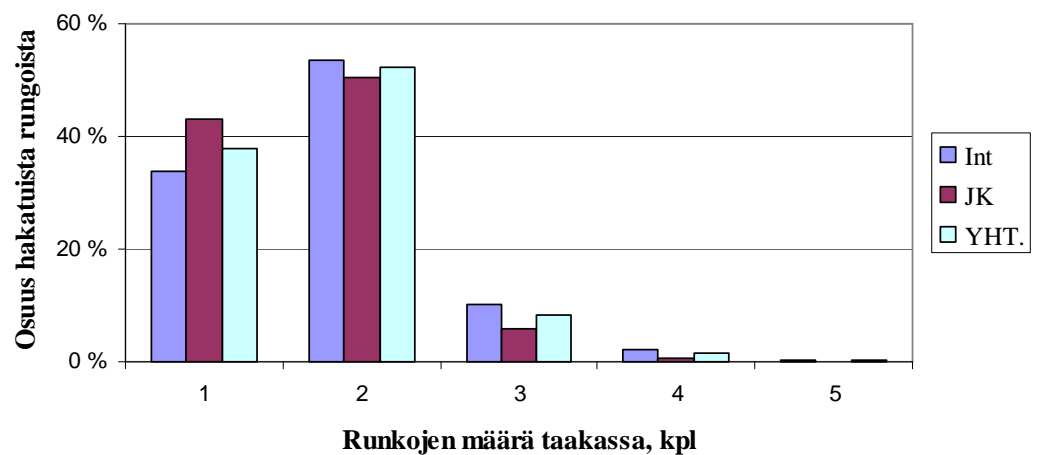
Taakkakoko suhteessa rinnankorkeusläpimittaan käyttäytyi koealoilla oletetusti, taakkakoon pienentyessä runkokoon kasvaessa (kuva 13). Integroidussa menetelmässä tosin läpimittaluokka 15–16 eroaa trendistä taakkakoon ollessa suurempi kuin kahdessa aiemmassa läpimittaluokassa.



Kuva 13. Taakkakoko läpimittaluokittain

Joukkokäsittelyä hyödyntäneissä hakkuumenetelmissä (integroitu menetelmä ja joukkokäsittely) hakattiin 52 % rungoista kahden rungon taakoissa (kuva 14). Seuraavaksi eniten, 38 % rungoista, hakattiin yhden rungon taakoissa. Kolmen rungon taakoista koostui enää 8 % hakatuista rungoista, neljän- ja viiden rungon taakkojen muodostaessa loput hakatuista rungoista.

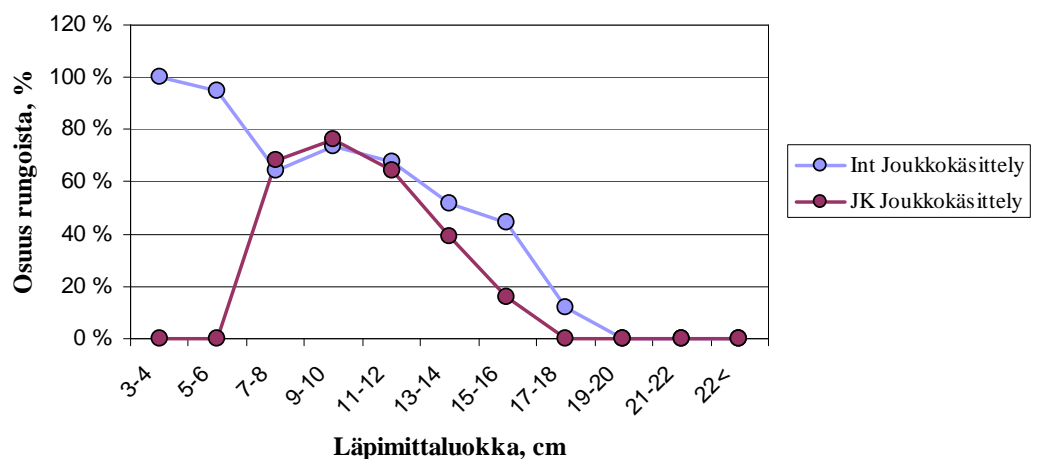
Antti Kovettu



Kuva 14. Osuus hakatuista rungoista taakkako'oitain ja hakkuumenetelmittain

Kuvassa 15 on esitetty joukkokäsittelyprosentin vaihtelu läpimittaluokittain integroidun ja joukkokäsittelyn koealoilla. Kaikista pienimmillä rungoilla (d1,3 5-6cm) integroidun korjuun joukkokäsittelyprosentti oli lähes sata.

Rinnankorkeusläpimitan ollessa 7-12 cm hakkuumenetelmien joukkokäsittelyprosentin käyrät seurasivat toisiaan. Joukkokäsittelyn koealoilla joukkokäsittelyn osuus alkoi laskea tasaisesti rinnankorkeusläpimitan ylittäessä 12 cm. Integroidussa joukkokäsittelyn osuus laski jyrkemmin, mutta vasta rinnankorkeusläpimitan ylittäessä 16 cm. Vielä 17-18 cm runkoja joukkokäsiteltiin integroidussa menetelmässä, tosin vain 12 % läpimittaluokan rungoista.

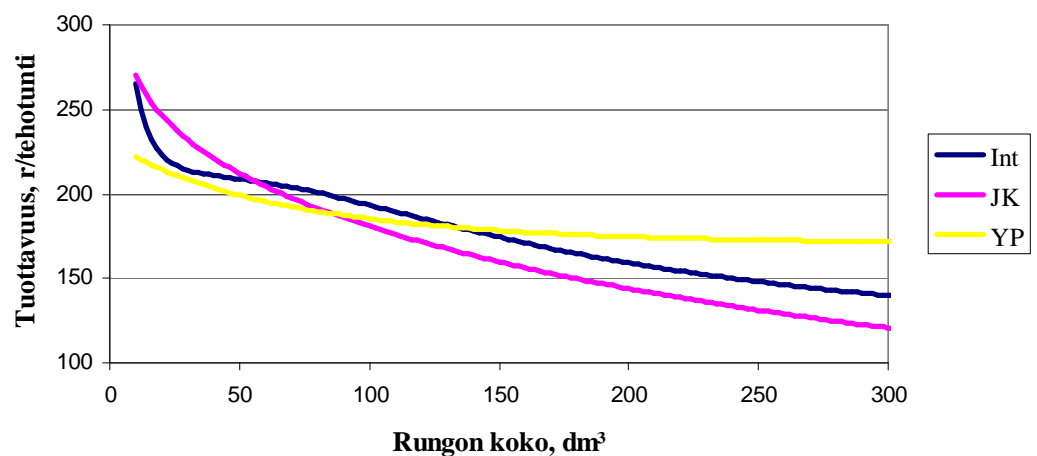


Kuva 15. Joukkokäsittelyprosentti läpimittaluokittain ja hakkuumenetelmittain.

Antti Kovettu

### 3.3 Tuottavuus

Tuottavuus (runkoa/tehotunti) (kuva 16) alle 56 dm<sup>3</sup> rungoilla oli suurin joukkokäsittelyssä. Täytyy kuitenkin muistaa, että pienimmät joukkokäsittelyllä hakatut rungot olivat hieman alle 19 dm<sup>3</sup>, kun kuvassa 16 tuottavuuskäyrän piirto alkaa 10 dm<sup>3</sup> rungon koosta. Yli 56 dm<sup>3</sup> rungoilla tehokkain oli integroitu menetelmä aina 135 dm<sup>3</sup> asti. Tästä suuremmilla rungoilla suurimpaan tuottavuuteen r/tehotunti pääsi yksinpuinhakkuu (YP). Vaihteluväli hakkuumenetelmien välillä rungon koolla 50 dm<sup>3</sup> oli 13 runkoa/tehotunti joukkokäsittelyn tuottavuuden ollessa 212 r/tehotunti ja yksinpuinhakkuun 199 r/tehotunti. 100 dm<sup>3</sup> runkokoolla tehokkaimman (integroitu menetelmä) ja heikoimman (joukkokäsittely) ero oli sama 13 r/tehotunti. 135 dm<sup>3</sup> runkokoolla yksinpuinhakkuu nousi tehokkaimmaksi hakkuutavaksi ero YP:n ja JK:n välillä oli 14 r/tehotunti.



Kuva 16. Hakkuutyön tuottavuus (runkoa/tehotunti) hakkuumenetelmittäin (huom! funktio extrapoloitu rungon kokoon 300 dm<sup>3</sup> asti)

Tarkasteltaessa tuottavuutta r/tehotunti leimikoittain päästiin leimikoilla 1 ja 2 lähes samoihin tuloksiin integroidun menetelmän ja yksinpuinhakkuun käyrien leikkauskohtien osalta (liite 5). Leimikossa yksi kuvaajien leikkauskohta oli 175 dm<sup>3</sup> kohdalla ja leimikossa kaksi 185 dm<sup>3</sup> kohdalla (taulukko 4). Leimikko kolme erosi jälleen muista, integroidun menetelmän ja yksinpuinhakkuun leikkauskohtan ollessa jo 30 dm<sup>3</sup> kohdalla (taulukko 4, liite 5).



Antti Kovettu

Taulukko 4. Leimikkokohtaiset leikkauskohdat (tuottavuus, r/tehotunti kuvaajalle) hakkuumenetelmittäin (liite5).

Tuottavuuskäyrien, r/tehotunti leikkauskohdat									
	Leim. 1			Leim. 2			Leim. 3		
	Int	JK	YP	Int	JK	YP	Int	JK	YP
Int		45	175		35	185		16	30
JK	45		107	35		61	16		74
YP	175	107		185	61		30	74	

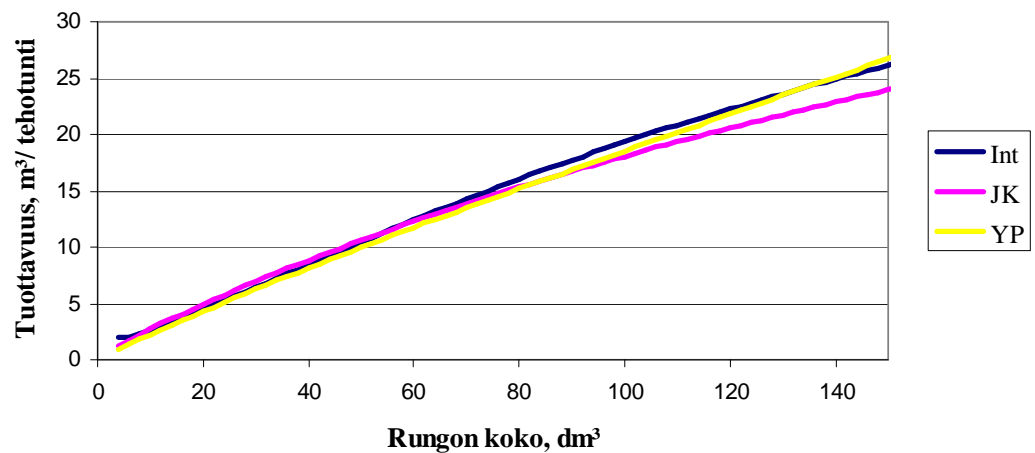
Koealakohtaisten tehoajanmenekkien laskennassa käytetyt siirtymis- ja apuajat olivat koealakohtaisia. Tavoitteena tällä laskentatavalla oli saada vertailukelpoisemmat tulokset (tuottavuus, r/tehotunti) leimikoittain (taulukko 5).

Taulukko 5. Koealakohtaiset siirtymis- ja apuajanmenekit, cmin/r.

	Int1	Int2	Int3	JK1	JK2	JK3	YP1	YP2	YP3
Siirtyminen, cmin/r	0,06	0,10	0,08	0,68	0,91	1,82	0,74	1,23	1,52
Apuajat, cmin/r	2,67	3,26	2,61	3,67	4,49	4,75	4,90	4,63	4,92

Hakkuun tehotuntituottavuus on esitetty kuvassa 17. Laskettaessa tuottavuuksia, joissa rungon koko (dm<sup>3</sup>) perustuu runkopuun tilavuuteen (ei käyttöosan tilavuuteen), vaihteluväli pysyy keskimäärin 0,7 m<sup>3</sup>/tehotunti alle 85 dm<sup>3</sup> runkokoolla. Tämä on myös kohta missä joukkokäsittely leikkaa yksinpuin hakkuun käyrän. Integroitua menetelmää tehokkaammaksi vaihtoehdoksi yksinpuin hakkuu tulee vasta yli 135 dm<sup>3</sup> rungoilla. Tässä pisteessä joukkokäsittelyn ero integroituu menetelmään ja yksinpuinhakkuuseen on 1,9 m<sup>3</sup>/tehotunti. Leimikoittaiset tuottavuudet hakkumenetelmittäin on esitetty liitteessä 6.

Antti Kovettu



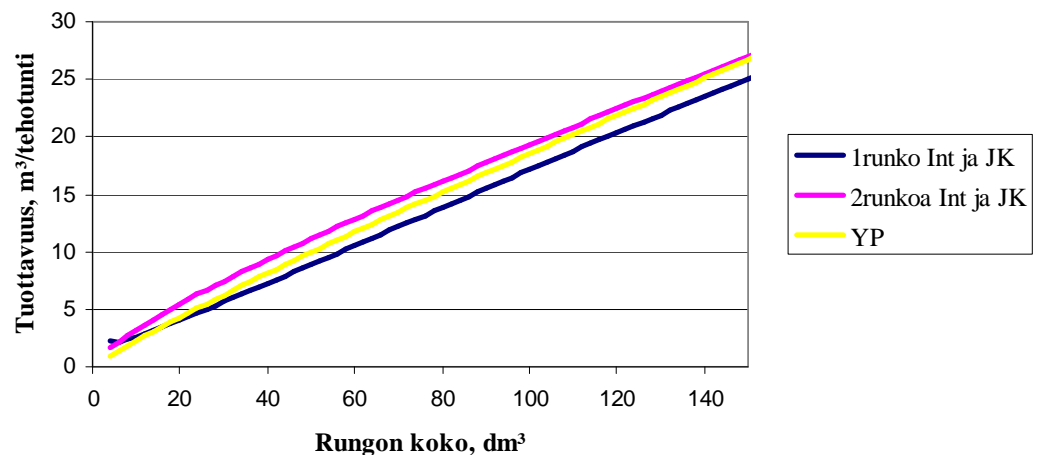
Kuva 17. Hakkuutyön tehotuntuottavuus aikatutkimusleimikoissa

Maksimituottavuuksia hakkuumenetelmittäin ei löydetty vielä aikatutkimusleimikoiden runkoko'oilla. Tuottavuusfunktioita ei myöskään extrapoloitu suurimman tuottavuuden löytämiseksi, koska yli 146 dm³ runkojen osuus koko tutkimuksen aineistosta oli vain neljä prosenttia (liite 2).

#### *Taakkakoon vaikutus tuottavuuteen*

Havaintoaineisto taakkakoon vaikutuksesta tuottavuuteen oli suppea, sillä yli kahden rungon taakoissa korjattiin integroidun menetelmän ja joukkokäsittelyn koealoilta vain 10 % korjatuista rungoista (kuva 13). Tästä johtuen ajanmenekkiyhtälöitä ei muodostettu kuin yhden ja kahden rungon taakoille joukkokäsittelyä hyödyntäneiden koealojen aineistosta (kuva 10 s.23, kuva 12 s.26). Kahden rungon taakoilla ei saavutettu merkittävää tuottavuuden lisäystä tässä tutkimuksessa (kuva 18). Joukkokäsittelyä hyödyntäneiden koealojen yhden rungon taakkojen tuottavuus jäi yksinpuin hakkuun tuottavuutta alemmaksi.

Antti Kovettu



Kuva 18. Tuottavuus eri taakkako'oilla integroidun ja joukkokäsittelyn yhdistetystä aineistosta

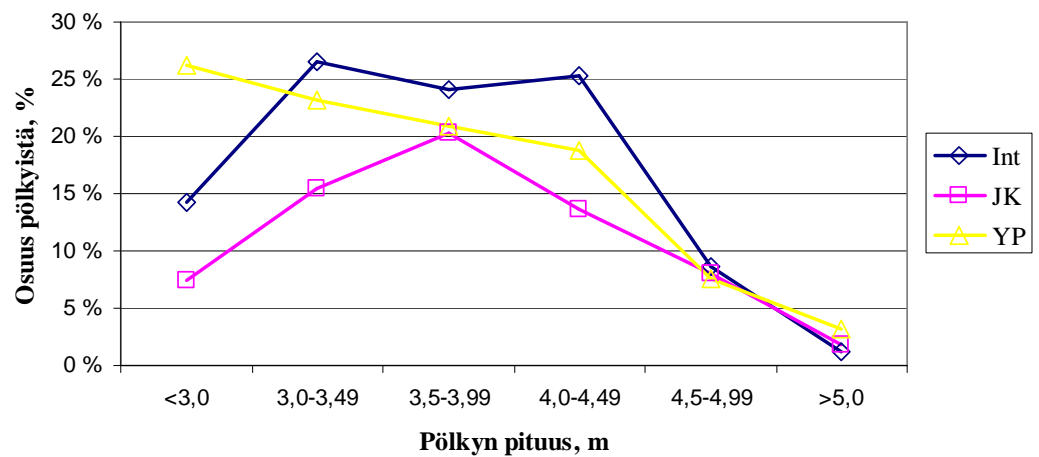
### 3.4 Hakattujen ainespuupölkkyjen laatu

Hakattujen ainespuupölkkyjen laatu tarkistettiin integroidun menetelmän sekä joukkokäsittelyn koelaloilta. Kaikkiaan integroidun menetelmän koelaloilta mitattiin 162 pölkkyä ja joukkokäsittelyn koelaloilta 108 pölkkyä. Yksinpuin hakkuun koelaloilta ainespuupölkkyjen läpimitta- ja pituustieto saatiin hakkuukoneen .stm-tiedostosta, hakattujen pölkkyjen määrän ollessa 1884 kpl. Tarkastelun kohteena molemmissa kuvissa (kuvat 19 ja 20) on koko pölkkysuma.

Kaikki joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäneiltä koelaloilta (Int ja JK) mitatut ainespuupölkkyt täyttivät vaatimukset latvaläpimitan ja pituuden suhteen. Tarkastetuista pölkyistä löytyi kuitenkin kaksiahaaraisuutta (2,6 % mitatuista pölkyistä). Yksinpuin hakkuun koelaloilta hakattuja pölkkyjä ei mitattu eikä laatua tarkistettu manuaalisesti koelaloilla.

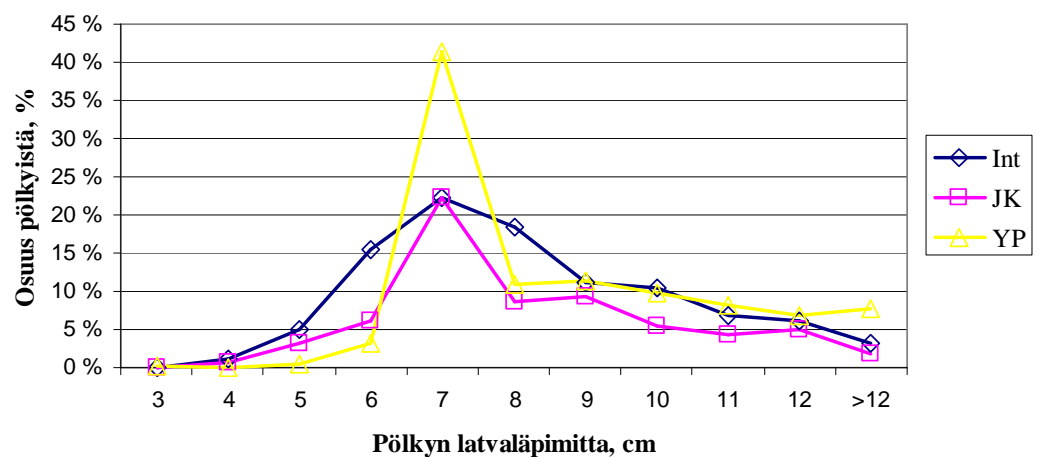
Eri hakkuumenetelmillä hakattujen ainespuupölkkyjen jakaumat pölkyn pituuden suhteen vaihtelivat voimakkaasti pölkyn pituuden ollessa alle 4,5 m (kuva 19). Eniten vaihtelua oli alle kolmen metrin pölkkyjen osuudessa (19 %) yksinpuin hakkuun ja joukkokäsittelyn välillä.

Antti Kovettu



Kuva 19. Hakattujen ainespuupölkkyjen jakauma pituuksien suhteen hakkuumenetelmittäin

Joukkokäsittelyä hyödyntäneiden hakkuumenetelmien (Int ja JK) ainespuupölkkysumassa on kuvan 20 perusteella odotettavissa enemmän latvaläpimitaltaan alle 6 cm pölkkyjä. Yksinpuin hakkuun jakaumaan vaikuttaa kuitenkin lavaläpimitaltaan 7 cm pölkkyjen suuri osuus (41 %). Jakaumien väliset erot pienenevät latvaläpimitan ylittäessä 8 cm.



Kuva 20. Hakattujen ainespuupölkkyjen jakauma latvaläpimittojen suhteen hakkuumenetelmittäin

## 4 TULOSTEN TARKASTELU JA VERTAILU

### 4.1 Aineisto ja menetelmät

Aikatutkimuksessa korjattu runkomäärä oli lähellä normaalia (Heikkilä ym. 2005, Kärhä ym. 2003, Mäkelä ym. 2002), kuitenkin huomattavasti pienempi kuin Kärhä ym. (2006) kokopuun korjuun tutkimuksessa. Aikatutkimuksessa käytetty tutkimusasetelma, missä hakkuumenetelmät olivat integroitu korjuu, joukkokäsittely ja yksinpuinhakkuu, ei ollut käytössä muissa tutkimuksissa. Kokopuun ja integroidun korjuun tutkimuksia kylläkin löytyy (mm Kärhä ym 2003, 2006, Mäkelä 2002).

Aikatutkimuksessa mukana olleesta hakkuukoneesta kuljettajalla kokemusta oli vain reilu kuukausi ja integroidusta hakkuusta vain muutama viikko. Tämä ei voinut olla vaikuttamatta tuloksiin. Selkeimmin joukkokäsittely kokemuksen vähyys näkyy mielestäni kuvasta 10 (s.23), missä yhden rungon taakkoihin käytetään joukkokäsittelyä hyödyntävillä hakkuumenetelmillä enemmän aikaa kuin yksinpuin hakkuussa. Lisäksi aikatutkimuksessa mukana olleet leimikot olivat kuljettajan mukaan ensimmäisiä kunnon ensiharvennuksia, koealojen runkokokoon viitaten, missä hän hakkasi joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäen. Joukkokäsittelytaitojen kehittyessä ajan myötä, mahdollinen yhden rungon taakkojen kohdalla ilmenevä suurempi ajanmenekki poistuu. Tällä tarkoitan sitä että kuljettajalla ei kokemuksen karttuessa menisi ylimääräistä aikaa päätöksentekoon, ottaako toinen runko taakkaan vai ei. Edellä ollut on pelkästään oma arvioni ja sen todistamiseen tarvittaisiin samalle kuljettajalle toinen tutkimus kokemuksen kartuttua tai verrokkiaineistoksi aikatutkimus kuljettajasta, jolla on jo pitkä kokemus joukkokäsittelystä.

Aikatutkimusleimikoiden kohdalta tutkimus ei mennyt suunnitellulla tavalla, sillä leimikko kaksi jouduttiin jättämään pois epätasaisen puuston ja maaston vuoksi. Toisaalta leimikon kaksi poisjättäminen todistaa, ettei kuljettajan työskentelyssä ollut suuria eroja samalla leimikolla sijainneiden koealojen välillä (liite 3).

Antti Kovettu

Aikatutkimuksessa mukana olleet koealat erosivat aikaisemmista tutkimuksista (Kärhä ym. 2003, 2006 ja Mäkelä ym. 2002, 2003) hakattujen runkojen läpimittajakauman suhteen. Aiemmissä tutkimuksissa valtaosan hakatuista rungoista oli rinnankorkeusläpimitaltaan 3-8 cm, kun tässä tutkimuksessa suurin osa hakatuista rungoista (69 %) oli 9 -14 cm (kuva 6 s.12).

Aikatutkimuksen koealoilta ei tarkastettu korjuujälkeä. Painumia maastoon ei kuitenkaan syntynyt ja puustovauriotkin olivat silmämääräisesti tarkasteltuna vähäisiä. Suositusten mukaiseen neljän metrin ajouraleveyteen ei koealoilla päästy keskiarvon ollessa 4,4 m. Integroidussa korjuussa kuljettajan energiapuukasojen sijoitus varmasti vaikutti ajouran leveyteen, suositusten ylittyessä keskimäärin 0,6 m. Suositeltua yli 20 m ajouraväliä ei myöskään saavutettu keskiarvon ollessa 17,8 m. Osasyynä suosituksia kapeampaan ajouraväliin oli leimikolla yksi olleet kivet, jotka vaikuttivat ajourien sijoitukseen sekä leimikolla kolme paikoittainen maaston sivukaltevuus. Suosituksia leveämmät ajourat ja lyhyempi ajouraväli nosti ajouran osuuden 26 %:iin koealan koosta mikä lisää hakkuukertymää sekä pienentää viennin ja kaadon aikoja, kaadettujen puiden etäisyyden ajouran keskilinjasta pienentyessä.

Leimikolla kolme sijainneen koealan Int3 sijoittumisella tien laitaan sekä suurella puulajin ”muu” osuudella oli varmasti vaikutusta koealakohtaiseen tuottavuuteen sen erotessa huomattavasti muiden integroidun menetelmän koealojen tuottavuuksista (liite 6). Lisäksi suurella muun puun osuudella oli vaikutusta käsittelyajanmenekin muodostumiseen, sillä leimikolta kolme ei mitattu lukupuiksi kuin mäntyjä ja koivuja. Puulajin ”muu” tilavuuksia laskettaessa käytettiin lukupuista määritettyä koivun pituuskäyrää (liite 7) sekä Laasasenahon tilavuusyhtälössä (kaava 1, liite 8) koivun parametreja. Koivun parametreja käyttämällä päästiin varmasti lähimmäksi todellista rungon tilavuutta, mutta tarkaksi puulajin ”muu” (haapa ja raita) tilavuuden määrittystä käsittelyajanmenekkiyhtälöä varten en kutsuisi.

Metsäkuljetusta aikatatutkimuksessa ei kelloitettu johtuen työntutkijan varauksesta tätä tutkimusta varten vain viikoksi. Ainespuukasojen kuormauksessa eri hakkuumenetelmien välillä ajokoneen kuljettaja ei huomannut suuria eroja.

Antti Kovettu

Integroidun menetelmän koealojen energiapuukasojen sijoittamisesta pääasiallisesti uran viereen sen suuntaisesti ajokoneen kuljettaja ei pitänyt, sillä tyhjänä ajon aikana uran viereen sijoitettuja energiapuukasoja täytyi varoa. Energiapuukasojen varominen hankaloitti metsäkuljetusta erityisesti paikoissa, missä oli kiviä ajouralla. Lisäksi ajokoneessa ollut vaaka oletti muutamassa tapauksessa aivan ajokoneen vierestä tapahtuneen kuormauksen tapahtuneen kuormatilasta, jolloin vaaka suoritti punnituksen. Mikäli vaaka oli virheellisesti metsässä punninnut taakkoja, ne poistettiin vaa'an muistista ennen kuorman purkamista varastolla.

Kuormainvaa'an käytöstä ajokoneen kuljettajalla ei ollut aiempaa kokemusta ja ensimmäisten kalibrointipunnitusten heitot aiheuttivatkin ihmetystä. Syyksi heittoihin paljastui kalibrointiputken tartuntakohta sekä vaa'an taaraus ennen punnitusta. Mikäli kalibrointiputki ei ollut nostettaessa vaakasuorassa, saattoi vaa'an näyttämä tulos erota todellisesta jopa 10 %. Sama huomio taakan painopisteen vaikutuksesta on tehty tutkittaessa kuormainvaakojen punnitustarkkuutta (Hujo ym. 2006). Käytännössä kuormaa purettaessa kourassa olevat taakat ovat harvoin vaakasuorassa, mikä aiheuttaa heittoa vaa'an näyttämän lukeman ja taakan todellisen painon välillä. Tämän tekijän vaikutusta koealakohtaisiin hakattuihin aines- ja energiapuutonnehin ei tiedetä. Mikäli heiton oletetaan olleen kaikilla koealoilla saman suuruinen, olisivat tulokset silloin vertailukelpoisia tutkimuksen sisällä.

Aines- ja energiapuun hakkukertymän ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) vertaamista muihin tutkimuksiin pidän lähinnä suuntaa antavana, en tarkkana, koska poistuma ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) on määritetty tässä tutkimuksessa kuormainvaa'an tonnien perusteella. Tuottavuuksien vertailuun kuormainvaa'an toiminta ei vaikuta, sillä ajanmenekkiyhtälössä käytetty runkokoko on muodostettu kaavalla 1 (s.17).

## 4.2 Tulokset

Aikatutkimuksessa joukkokäsittelyprosentti oli pienempi verrattuna aikaisempiin Kärhä ym. (2003, 2006) tutkimuksiin, mikäli ei oteta huomioon vuoden 2003

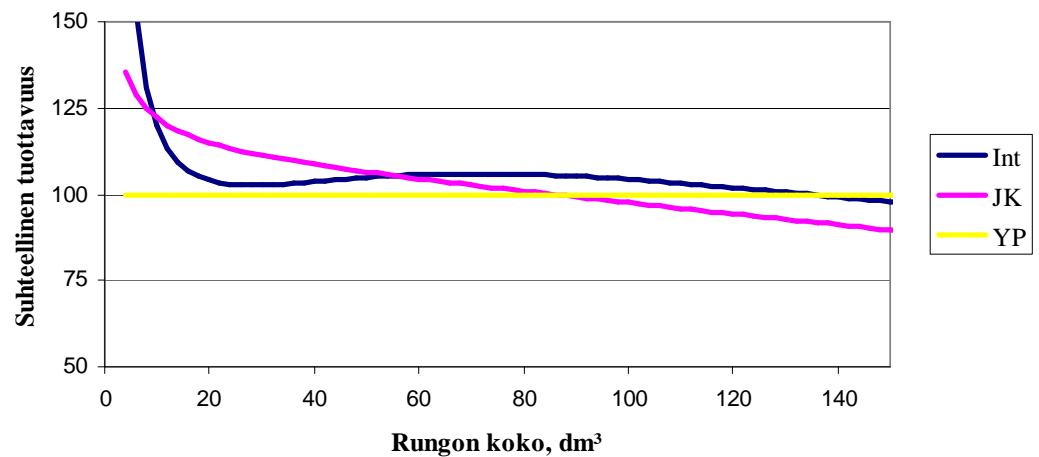
tutkimuksen Keto Forst Energy -hakkuulaitetta. Mäkelä ym. (2002, 2003) tutkimuksissa joukkokäsittelyprosenttia ei oltu määritetty, Nurminen ym. (2006) ja Heikkilä ym. (2005) tulosten ollessa yksinpuin hakkuusta. Joukkokäsittelyprosentin määrittämiseen ei luonnollisesti otettu mukaan yksinpuin hakkuun koealoja. Verrattaessa joukkokäsittelyprosenttia leimikon rungon keskikokoon päästään suurempaan joukkokäsittelyprosenttiin kuin Kärhä ym. (2006). Kärhä ym. (2006) tutkimuksen mukaan  $57 \text{ dm}^3$  rungon keskikoolla joukkokäsittelyprosentti olisi, manuaalisesti käyrä tasoittamalla, noin 47 %, kun tässä tutkimuksessa päästiin 62 %. Tulokset eivät tosin ole täysin vertailukelpoisia keskenään, sillä tässä tutkimuksessa rungon keskikoko on laskettu Laasasenahon tilavuusyhtälöllä runkopuuna, kun Kärhä ym. (2006) tutkimuksessa käsitellään kokopuun korjuuta, jolloin tilavuuksissa on mukana latvusmassa.

Käsittelyajanmenekki hakkuutavoille laskettiin kaavalla 3 jota voidaan käyttää niin kokopuun kuin ainespuun korjuussa. Kaavan sovituksessa hakkuutapojen pisteparviin ollut suuria eroja, kuten tuloksista ilmenee (3.1.2 s.23). Käyttämällä Excelin omaa logaritmisen trendiviivan piirtoa saatiin tulokseksi lähes identtinen käyrä kaavan kolme muodostaman käyrän kanssa.

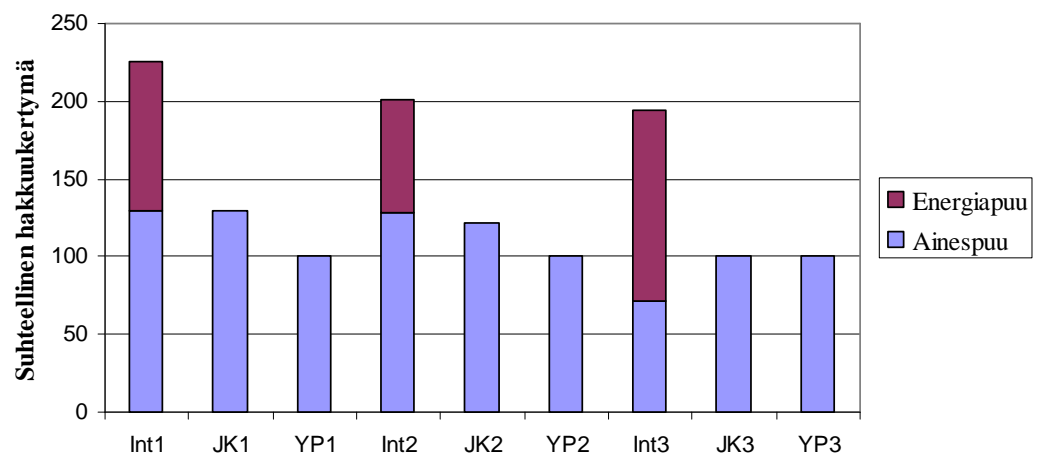
Hakkuun tuottavuus  $\text{m}^3/\text{tehotunti}$  (kuva 17) sekä suhteellinen tuottavuus (kuva 21) eivät ole suoraan hyödynnettävissä jatkokäyttöä varten. Laskettaessa tehotuntituottavuutta rungon koko ( $\text{dm}^3$ ) oli laskennallinen (runkopuuta) (kaava 1), eikä siinä otettu huomioon rungon käyttöosan tilavuutta. Tuottavuuksia määriteltäessä ei myöskään otettu huomioon koealoilta hakattuja aines- ja energiapuumääriä. Tämä johtaa siihen, että integroidulle menetelmälle tulee lähes sama tuottavuus kuin muillekin hakkuutavoille hakkuukertymän ollessa kuitenkin kaksinkertainen suhteessa saman leimikon yksinpuin hakkuun koealaan (kuva 22). Tosin integroidun menetelmän koealojen ainespuukertymätkin olivat yksinpuin hakkuun koealoja suurempia lukuun ottamatta leimikolla kolme ollutta koealaa Int3 (kuva 22).



Antti Kovettu



Kuva 21. Hakkuutapojen suhteellinen tuottavuus yksinpuin hakkuun tuottavuuden ollessa 100. (muodostettu samoista tiedoista kuin kuva 17)



Kuva 22. Suhteellinen hakkuukertymä koealoittain yksinpuin hakkuun kertymän ollessa 100. (muodostettu taulukon 1 kertymätietojen perusteella)

Vaikka tutkimuksesta ei saadakaan hakkuumenetelmien välisiä todellisia suhteellisia tuottavuuksia, niin voidaan kuitenkin todeta energiapuun hakkuusta (energialatvojen kasauksesta) johtuvan ajanmenekin lisäyksen olevan vähäistä integroidussa korjuussa. Samaan lopputulokseen on päädytty myös muissa tutkimuksissa (Heikkilä ym. 2005, Mäkelä ym. 2003). Heikkilä ym. tutkimuksessa ollutta 15 % ajanmenekin lisäystä energialatvojen kasauksesta tai 35 % ajanmenekin lisäystä ainespuuksi kelpaamattomien puiden hakkaamisesta

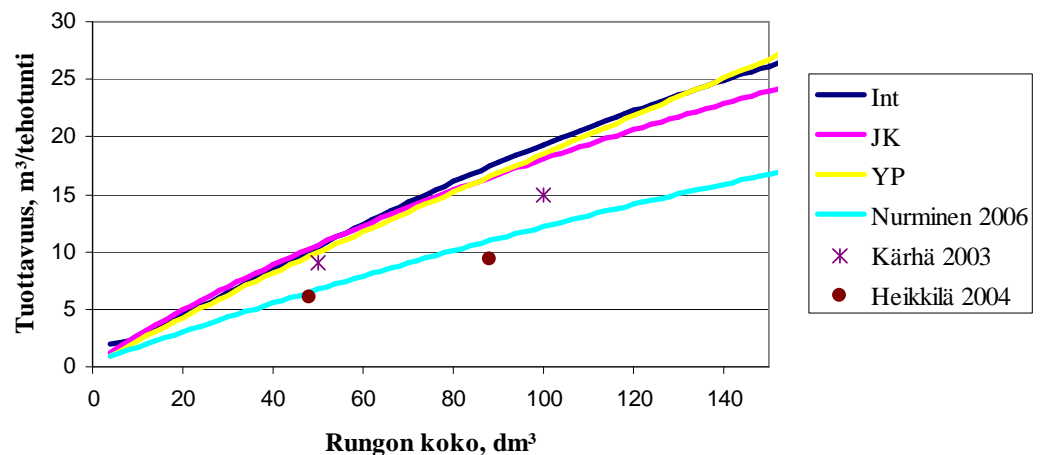
Antti Kovettu

ainespuuksi ei tässä tutkimuksessa havaittu (kuva 11). Heikkilä ym. (2005) tutkimuksessa hakkuumenetelmä oli tosin yksinpuin hakkuu ja energiapuu hakattiin karsituksi rangaksi. Näiden erojen lisäksi Heikkilä ym. (2005) työvaihejaottelu erosi tässä tutkimuksessa käytetystä, mikä varmasti vaikutti integroidun korjuun 50 % suurempaan ajanmenekkiin.

Hakkuumenetelmien maksimituottavuuksia tutkimuksessa ei selvitetty eikä se ollut tavoitteenakaan. Teoreettisesti ajatellen kaikilla hakkuumenetelmillä on maksimituottavuus samalla runkokokoolla, koska joukkokäsittelyn osuus pienenee runkokoon kasvaessa (kuva 15).

Vertailtaessa tuottavuutta aiempiin tutkimuksiin päästiin korkeampiin tuottavuuksiin kuin Nurminen ym. (2006), Kärhä ym. (2003) ja Heikkilä ym. (2005) (kuva 23). Nurmisen ja Heikkilän tutkimukset erosivat tästä sekä Kärhän tutkimuksesta, sillä niissä ei käytetty joukkokäsittelyä. Lisäksi rungon koko ( $\text{dm}^3$ ) Nurmisen ja Heikkilän tutkimuksissa oli hakatun rungonosan tilavuus suoraan hakkuukoneen .stm-tiedostosta. Kärhän (2003) tutkimuksessa rungon koko oli laskettu runkopuuna Laasasenahon tilavuusyhtälöllä, kuten tässä tutkimuksessa. Mäkelän (2002, 2003) tutkimukset jätettiin vertailun ulkopuolelle, sillä niissä tuottavuus ( $\text{m}^3/\text{tehotunti}$ ) oli suhteessa rinnankorkeusläpimittaan eikä pituustietoja puustosta esitetty.

Antti Kovettu



Kuva 23. Tuottavuudet tässä tutkimuksessa (runkopuuta) hakkuumenetelmittäin, sekä:

Nurminen ym. (2006) ensiharvennus, yksinpuin hakkuu

Kärhä ym. (2003) integroitu menetelmä, joukkokäsittely

Heikkilä ym. (2005) integroitu menetelmä, yksinpuin hakkuu

Tuottavuusfunktio rungon koon suhteen löytyi Nurminen ym. (2006) ja ajanmenekkiyhtälö hakatun puunosan tilavuuden suhteen Heikkilä ym. (2005) tutkimuksesta. Kärhä ym. (2003) tuottavuudet oli esitetty tuloksissa sanallisesti, mistä ne poimittiin kuvaan 23. Nurmisen ym. käyttämä funktio oli toisen asteen yhtälö, jolloin tuottavuus nousee ja laskee samassa suhteessa rungon kokoon nähden. Heikkilä ym. taas käytti ajanmenekkiyhtälössään suoran funktiota, joka antaa tuloksena lineaarisen tuottavuuden kasvun rungon kokoon nähden. Nämä lineaariset sekä eksponentiaaliset funktiot toimivat varmasti hyvin tietyllä runkokoolla, mutta niiden inter- ja extrapolointi tietyn runkokokoalueen ulkopuolelle antaa varmasti harhaanjohtavia tuloksia. Tämänkin tutkimuksen tuottavuuskäyriä pitäisin luotettavana vain runkokoon ollessa välillä 6–85 dm³, sillä näissä runkoko'oissa hakattiin 82 % aikatutkimuksen rungoista (liite 2).

Taakkakoon vaikutus tuottavuuteen oli vähäinen, mikäli verrataan keskenään kahden rungon taakkoja ja yksinpuinhakkuuta (kuva 18). Joukkokäsittelyä hyödyntäneiden hakkuumenetelmien sisällä yhden ja kahden rungon tehoajanmenekit erosivat huomattavasti enemmän (kuva 12). Bergkvist (2003) sai tutkimuksessaan (Timberjack 745 -joukkokäsittelyvarustuksella) 31 %

Antti Kovettu

tehoajanmenekin pienenemisen kahden rungon taakoilla yhden rungon taakkoihin verrattuna. Ponsse H53e -hakkuulaitteella tehoajanmenekki pieneni joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäneillä koealoilla maksimissaan 24 % (18-32 dm<sup>3</sup>) taakan ollessa kaksi runkoa samojen koealojen yhden rungon taakkoihin verrattuna. Yksinpuinhakkuun yhden rungon taakkojen ja joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäneiden hakkuumenetelmien kahden rungon taakkojen ero oli suurimmillaan 22 % rungon koon ollessa 18 dm<sup>3</sup> (pienimmät YP:llä hakatut rungot). Tästä ero pieneni tasaisesti rungon kokoon 157 dm<sup>3</sup> asti. Bergkvist (2003) esitti tehoajanmenekin kasvavan kaikilla taakkako'oilla lineaarisesti, mikä tekee tulosten vertailu vaikeaksi. Suppeasta tiedoksiannosta ei myöskään selviä oliko yhden rungon taakkojen tehoajanmenekki joukkokäsitellyltä koealta, koko tutkimuksesta vai yksinpuin hakkuun koealoilta.

Vaikka eri tutkimusten tuottavuustasoja pystytäänkin vertailemaan, vaikeuttavat erilaiset työvaihejaottelut, käsittelyajanmenekin ja tuottavuuden laskentatavat sekä rungon koon määrittämiset sen tekemistä. Edellä mainittujen seikkojen lisäksi kuljettajalla on suuri vaikutus tuloksiin, mikä vaikeuttaa edelleen tulosten vertailua, ellei tee sitä jopa mahdottomaksi.

#### Hakattujen pölkkyjen laatu

Hakattujen pölkkyjen pituus- ja läpimittajakaumat muodostettiin kuvaamaan koko pölkkysumaa (kuvat 19 ja 20). Joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäneiden hakkuumenetelmien pituus- ja läpimitta-aineisto oli pieni verrattuna yksinpuin hakkuun koealojen suoraan hakkuukoneelta otettujen tietojen määrään. Integroidun menetelmän ja joukkokäsittelyn koealojen pienestä aineistosta johtuen pituus- ja läpimittajakaumissa saattaa olla ja varmasti onkin heittoa (kuvat 19 ja 20). Integroidun menetelmän ja joukkokäsittelyn koealoilta saatuja tuloksia pitäisinkin lähinnä suuntaa antavina. Tulosten yleistettävyyttä heikentävät lisäksi leimikkokohtaiset tekijät, eli rinnankorkeusläpimitta (kuva 6) ja runkomuoto, jotka vaihtelevat leimikoittain. Yleisesti ottaen voidaan kuitenkin sanoa että joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntämällä pystytään hakkaamaan puun ostajan pituus- ja läpimittavaatimukset täyttävää puutavaraa. Samoihin johtopäätöksiin joukkokäsittelyn puun riittävän hyvästä laadusta jatkojalostuksen kannalta pääsi myös Bergkvist (2003).

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä aikatutkimuksessa, Ponsse H53e -hakkuulaitteella hakattaessa, hakkuumenetelmän vaikutus tehotuntituottavuuteen oli vähäinen. Integroidulla hakkuumenetelmällä saavutettiin kuitenkin huomattavasti suurempi hakkuukertymä verrattuna pelkän ainespuun korjuuseen. Kustannuksia eri hakkuumenetelmille ei laskettu, koska metsäkuljetus ei sisällynyt aikatutkimukseen.

Joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntävän koneellisesti tapahtuvan integroidun korjuun kustannuksista eri työtekniikoilla ja -menetelmillä saisi jo itsessään tutkimuksen. Mikäli niveltuvilla takakarsintaterillä varustetun Ponsse H53e -hakkuupään tuottavuus on suuremmalla runkokooalla sama kuin normaaleilla takakarsintaterillä varustetun mallin, niin pitäisin sitä vartenotettavana vaihtoehtona pääasiassa harvennuksia tekevän koneen hakkuupääksi.

Joukkokäsittelyominaisuuden hyödyntäminen riippuu mielestäni oleellisesti leimikosta, poistuman tiheydestä, kuljettajasta ja kuljettajan joukkokäsittelykokemuksesta. Väkisin kouran joukkokäsittelyominaisuutta ei kannata hyödyntää, vaan käyttää sitä vain silloin, kun yli yhden rungon taakka on järkevästi koottavissa.

Joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntävä integroitu hakkuumenetelmä vaatisi muutosta myös ensiharvennus- ja energiapuun kauppaan, sillä hakkuukone ei pysty kuutioimaan joukkokäsiteltyjä runkoja. Energiapuun luovutusmittaukseen kuormainvaakaperustaista mittausta on mahdollista käyttää (Lindblad ym. 2008). Ainespuun kohdalla metsäkuljetuksen yhteydessä tehtävä kuormainvaakaperustainen luovutusmittaus sallitaan 1.1.2009 alkaen vain alle noin 110m<sup>3</sup> erillä, elleivät kaupan osapuolet ole sopineet muuta (MMM-asetus nro 18/08). Työmittauksen osalta tällaisia rajoja ei ole määritelty ainespuun korjuulle (MMM-asetus nro 18/08). Mikäli metsäkuljetuksen yhteydessä tapahtuvaan kuormainvaakaperustainen luovutusmittaus yleistyy, niin mielestäni tulisi myös kuormainvaakojen tarkkuutta parantaa nykyisestä, käytettiin niitä sitten työsuoritteen mittaukseen tai aines/energiapuun luovutus mittaukseen.

## LÄHDELUETTELO

### Painetut lähteet

Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce, and birch. Communicationes Instituti Forestalis Feanniae 108. 74pp.

Näslund, M. 1936. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 29. 169 p.

### Sähköiset lähteet

Bergkvist, I. 2003. Multitree-handling increases productivity in smallwood thinning. Results no.3 2003. ISSN 1103-6222. [Verkkodokumentti]. Skogforsk. 2003. [viitattu 29.8.2008] Saatavissa:

<http://www.skogforsk.se/upload/Dokument/Results/2003-03.pdf>

Bioenergia maa- ja metsätaloudessa. [Verkkodokumentti]. Maa- ja metsätalousministeriön bioenergiatuotannon työryhmä. Helsinki 2008. [viitattu 10.9.2008] Saatavissa:

<http://www.mmm.fi/attachments/5fDbyYiFr/5xAvQdC75/Files/CurrentFile/bioenergiamuistio.pdf>

Heikkilä, J. Laitila, J. Tanntu, V. Lindblad, J. Sirén, M. Asikainen, A. Pasanen, K. & Korhonen, Kari T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. ISBN 951-40-1964-4. [Verkkodokumentti]. Metlan työraportteja 10. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki 2005. [viitattu 14.12.2008] Saatavissa:

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.htm>

Hujo, S. Peltola, J. & Liikkanen, R. 2006. Kuormainvaakojen punnitustarkkuus. Metsätehon tulosalvosarja 2006/02. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. [viitattu 9.12.2008] Saatavissa:

[http://www.metsateho.fi/uploads/Tuloskalvosarja\\_330\\_kuormainvaaka.pdf](http://www.metsateho.fi/uploads/Tuloskalvosarja_330_kuormainvaaka.pdf)

Kansallinen metsäohjelma 2015. [Verkkodokumentti]. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2008. ISBN 978-952-453-376-8 (PDF). [viitattu 4.12.2008] Saatavissa: [http://www.mmm.fi/attachments/5fLUy9oi5/5ywg0T9jr/Files/CurrentFile/3\\_2008FI\\_netti.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/5fLUy9oi5/5ywg0T9jr/Files/CurrentFile/3_2008FI_netti.pdf)

Kärhä, K. Keskinen, S. Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. Metsätehon raportti 193. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. Helsinki 2006. ISSN 1796-2374. [viitattu 10.6.2008] Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/uploads/Raportti\\_193\\_KK\\_ym.pdf](http://www.metsateho.fi/uploads/Raportti_193_KK_ym.pdf)

Kärhä, K. Peltola, J. Korpilahti, A. Poikela, A. & Liikkanen, R. 2003. Uusia laitteita energia- ja ainespuun korjuuseen nuorista metsistä. Metsätehon raportti 164. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. Helsinki 2003. [viitattu 25.8.2008] Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/uploads/4pjovm897ztz.pdf>

Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. 1. Energiapuuvarat. Ss. 6-12 julkaisussa: Kuusinen, M., Ilvesniemi, H. (toim.) 2008. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. [Verkkodokumentti]. Tapion ja Metlan julkaisuja. 2008. [viitattu 4.12.2008] Saatavissa: <http://www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti>.

Lindblad, J. Äijälä, O. & Koistinen, A. 2008. Energiapuun mittaus. [Verkkodokumentti]. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäntutkimuslaitos. 2008. ISBN 978-952-5694-28-4. [viitattu 2.1.2009] Saatavissa: [www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/](http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/)

Metinfo. Metla Metinfo tilastopalvelu. [www-sivu]. [viitattu 4.12.2008] Saatavissa: [http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/rek/hake\\_raaka.htm](http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/rek/hake_raaka.htm);  
[http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/rek/kokonais\\_hake.htm](http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/rek/kokonais_hake.htm)

Metsäteho 2003. Korjuujälki harvennushakkuussa –opas. [Verkkodokumentti]

Metsäteho Oy. Helsinki 2003. [viitattu 12.12.2008] Saatavissa:

<http://www.metsateho.fi/uploads/5inktw8jks0w.pdf>

MMM asetus nro 18/08. Maa- ja metsätalousministeriön asetus kuormainvaa'an käytöstä puutavaran mittauksessa ja erien erillään pidossa. 2.12.2008. Dnro

2593/01/2008. [viitattu 2.1.2009] Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/34097>

Mäkelä, M. Poikela, A. & Liikkanen, R. 2003. Energiapuun korjuu

harvennusmetsistä. Metsätehon raportti 161. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy.

Helsinki 2003. [viitattu 9.9 2008] Saatavissa:

<http://www.metsateho.fi/uploads/rvdj8cbpsun8d1.pdf>

Mäkelä, M. Poikela, A. & Liikkanen, R. 2002. Joukkohakkuu aines- ja energiapuun korjuussa. Metsätehon raportti 137. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. Helsinki

2002. [viitattu 5.12.2008] Saatavissa:

<http://www.metsateho.fi/uploads/irdc9ydw.pdf>

Nurminen, T. Korpunen, H. & Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. Silva Fennica 40(2): 335–363. ISSN

0037-5330. [Verkkodokumentti]. Metsäntutkimuslaitos. 2006. [viitattu 6.1.2009]

Saatavissa: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf40/sf402335.pdf>

Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. [Verkkodokumentti]. Työ- ja

elinkeinoministeriö 2008. [viitattu 8.12.2008] Saatavissa :

[http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus\\_311008.pdf](http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf)

Ponsse Oyj. [www-sivu]. [viitattu 5.1.2009] Saatavissa:

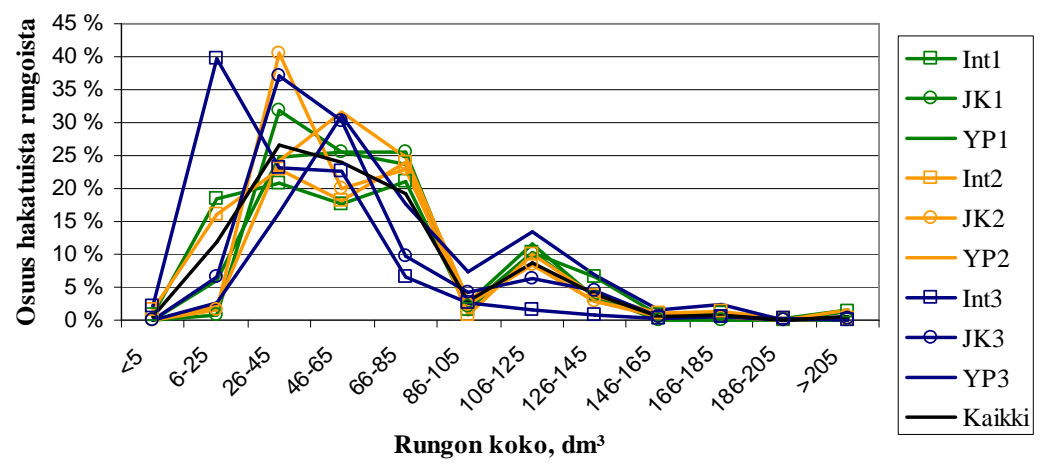
[http://www.ponsse.fi/suomi/tuotteet/harvesteripaat/h53\\_teknisettiedot.php](http://www.ponsse.fi/suomi/tuotteet/harvesteripaat/h53_teknisettiedot.php)



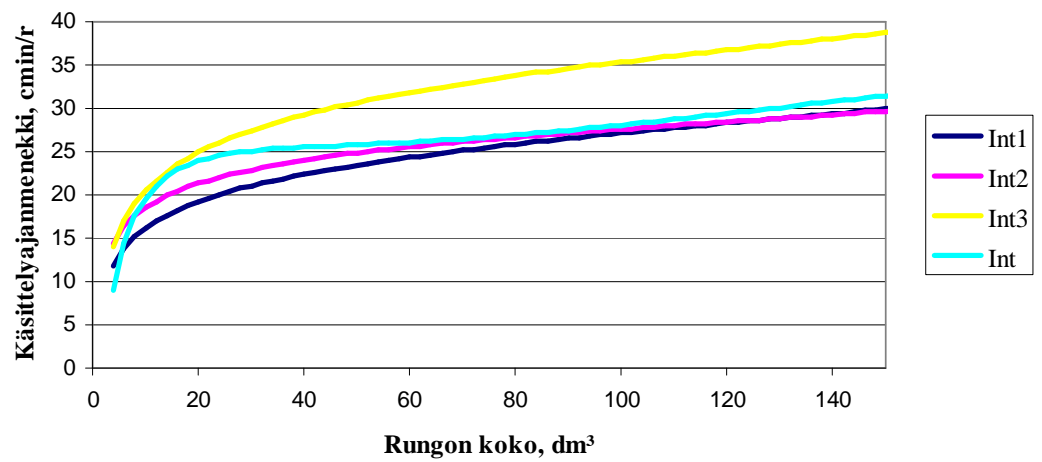
## LIITTEET

1. *Ylempi taulukko*, läpimittajakauma koealoittain ja hakkuumenetelmittäin.  
*Alempi taulukko*, puulajisuhteet koealoittain ja hakkuumenetelmittäin.
2. Jakauma hakatuista rungoista rungon koon (runkopuuta) suhteen.
3. Koealakohtaiset käsittelyajanmenekit hakkuumenetelmittäin ryhmiteltynä.
4. Käsittelyajanmenekki sekä tutkimuksessa havaitut arvot hakkuumenetelmittäin.
5. Koealoittaiset tuottavuudet (runkoa/tehotunti) suhteessa rungon kokoon (runkopuuta) leimikoittain ryhmiteltynä.
6. Koealakohtaiset tuottavuudet ( $\text{m}^3/\text{tehotunti}$ ) suhteessa rungon kokoon (runkopuuta) leimikoittain ryhmiteltynä.
7. Tutkimuksessa käytetty puun pituuden suhde läpimittaan aikatutkimusleimikoissa puulajeittain. Kuvassa havaitut arvot sekä Näslundin pituusmallilla tasoitettu pituuskäyrä.
8. Tutkimuksessa käytetty rungon rinnankorkeusläpimitan suhde tilavuuteen (runkopuuta) Laasasenahon tilavuusyhtälöllä laskettuna leimikoittain sekä puulaji.

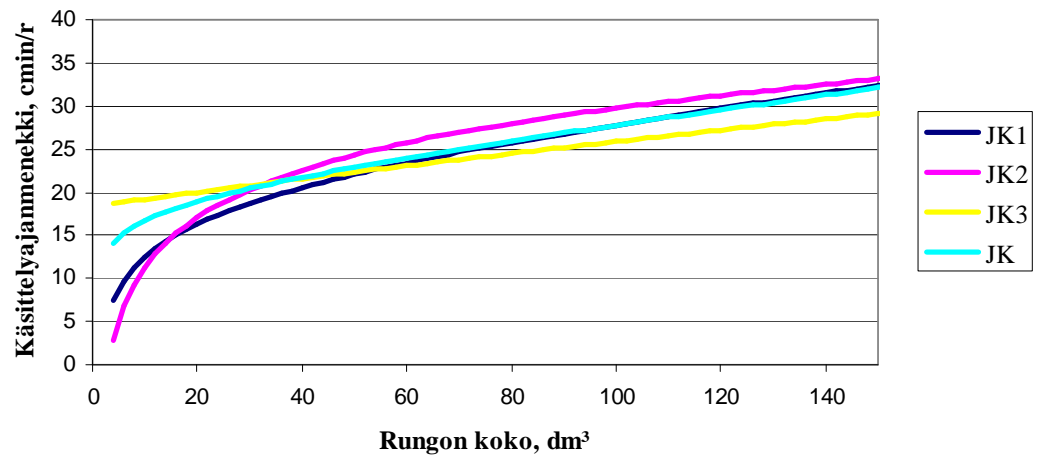




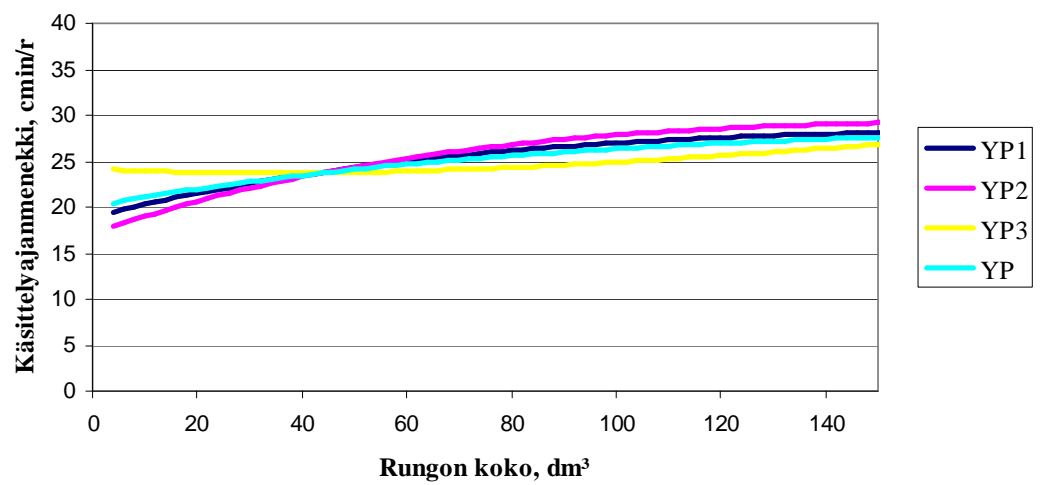
Jakauma hakatuista rungoista rungon koon (runkopuuta) suhteen.



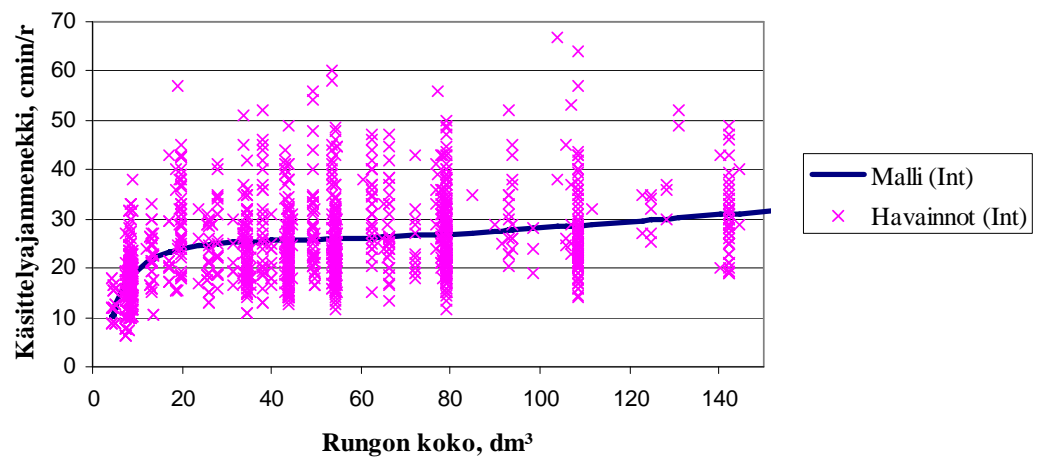
Integroidun menetelmän käsittelyajanmenekit koealoittain.



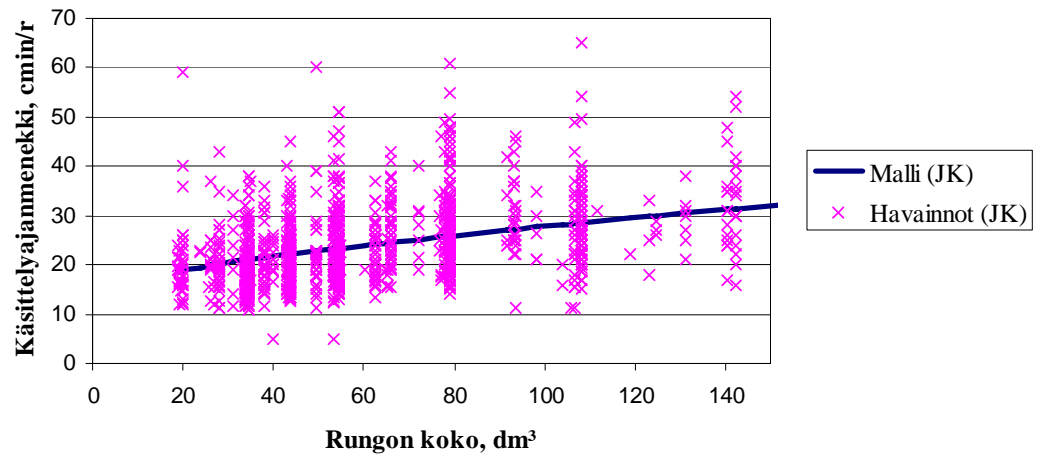
Joukkokäsittelyn käsittelyajanmenekit koealoittain.



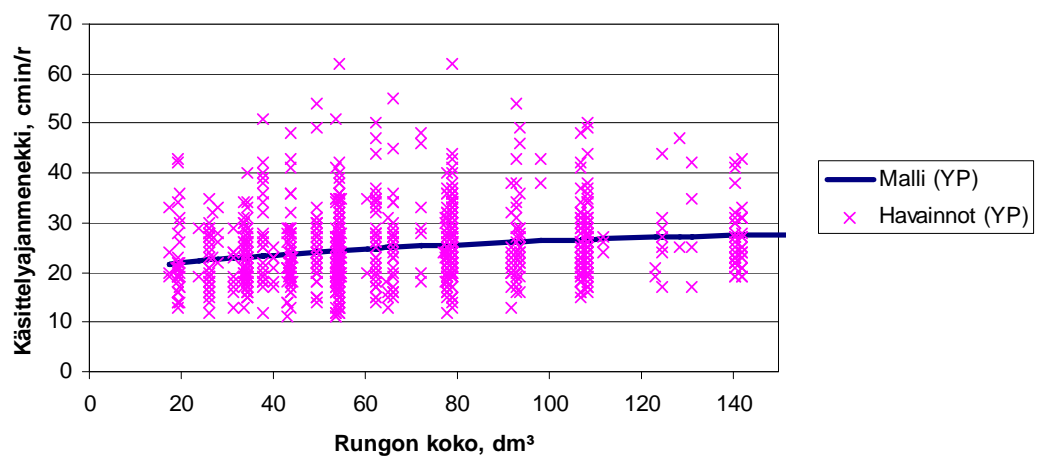
Yksinpuin hakkuun käsittelyajanmenekit koealoittain.



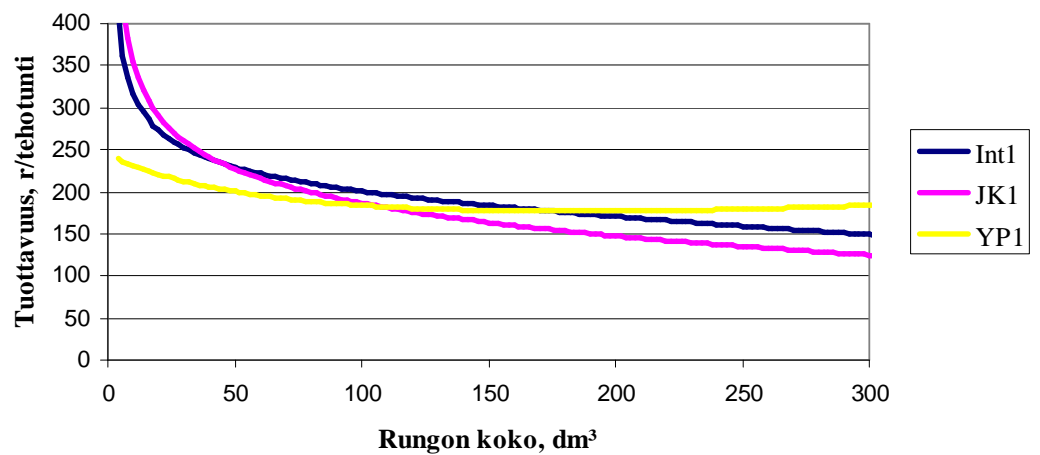
Integroidun menetelmän käsittelyajanmenekki rungoittain sekä mallinnettuna.



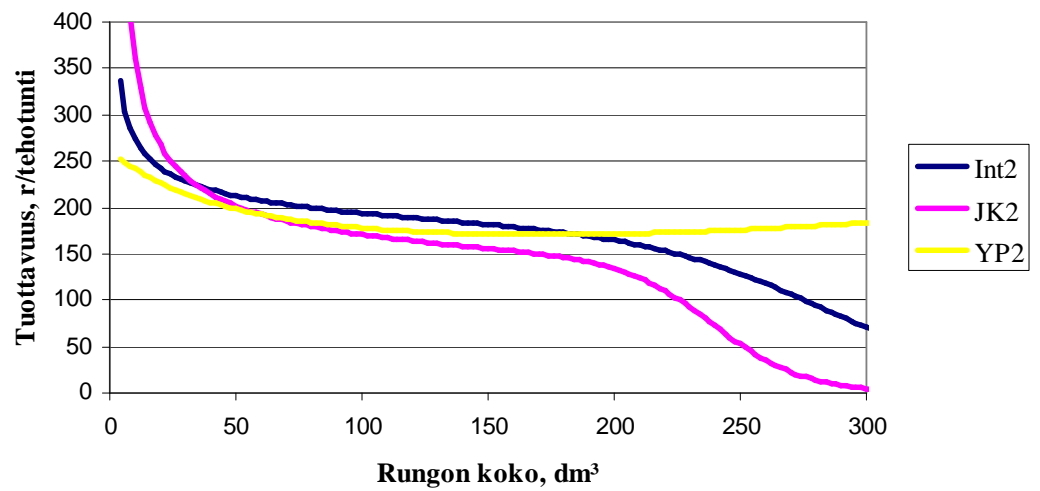
Joukkokäsittelyn käsittelyajanmenekki rungoittain sekä mallinnettuna.



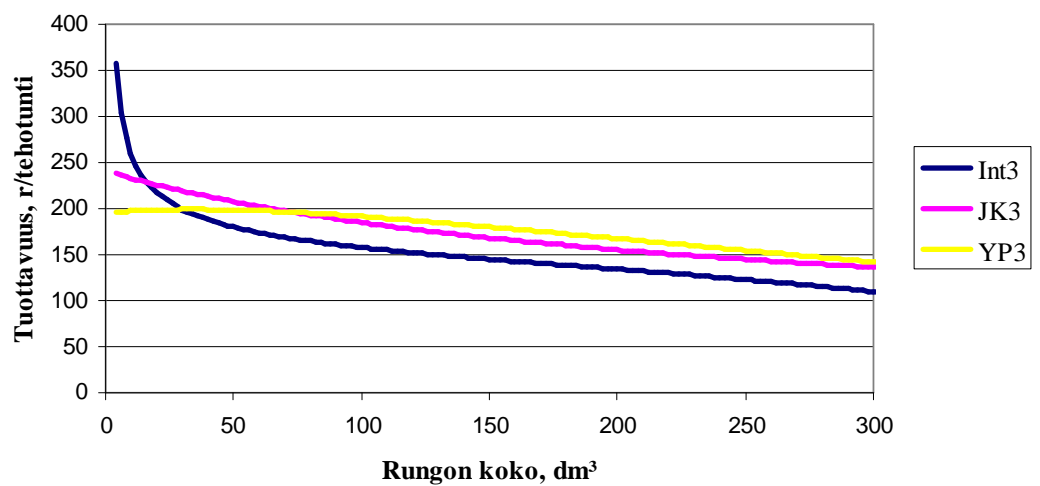
Yksinpuin hakkuun käsittelyajanmenekki rungoittain sekä mallinnettuna



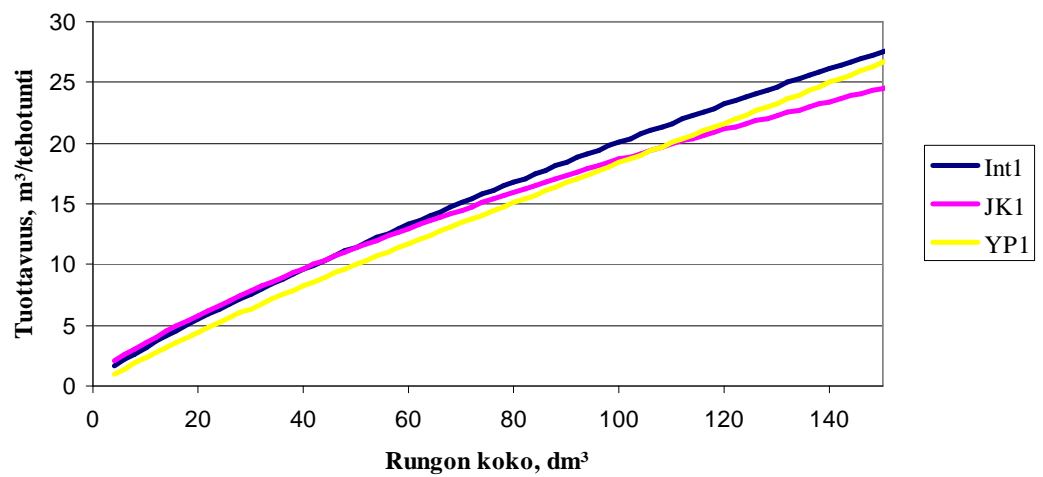
Tuottavuudet koealoilla Int1, JK1 ja YP1 suhteessa rungon kokoon (runkopuuta).



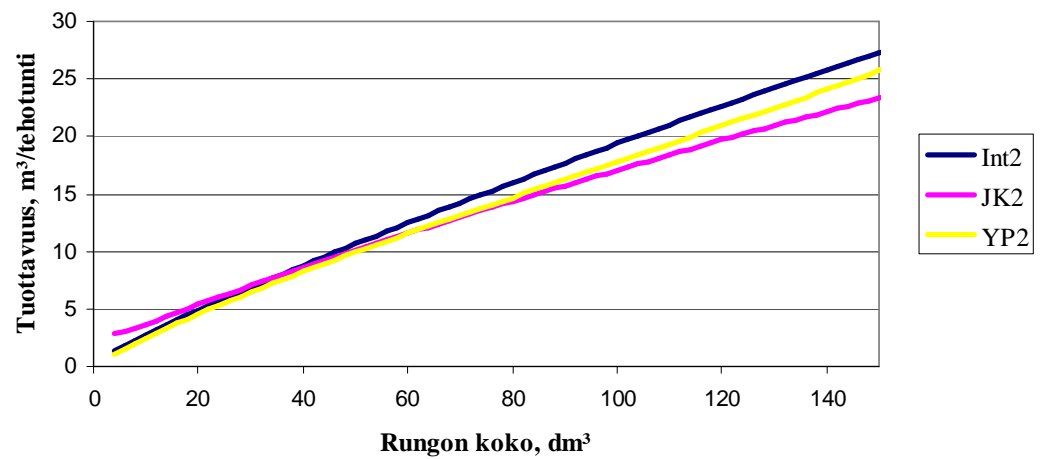
Tuottavuudet koealoilla Int2, JK2 ja YP2 suhteessa rungon kokoon (runkopuuta).



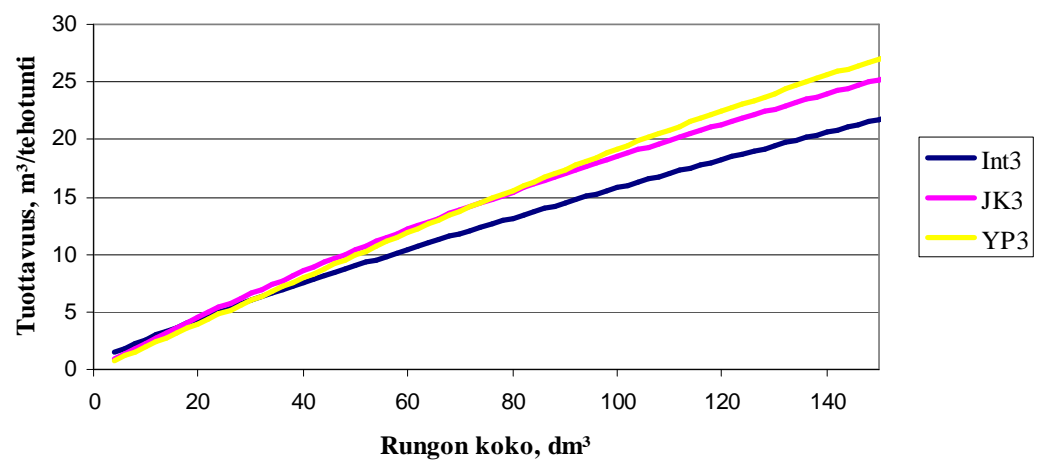
Tuottavuudet koealoilla Int3, JK3 ja YP3 suhteessa rungon kokoon (runkopuuta)



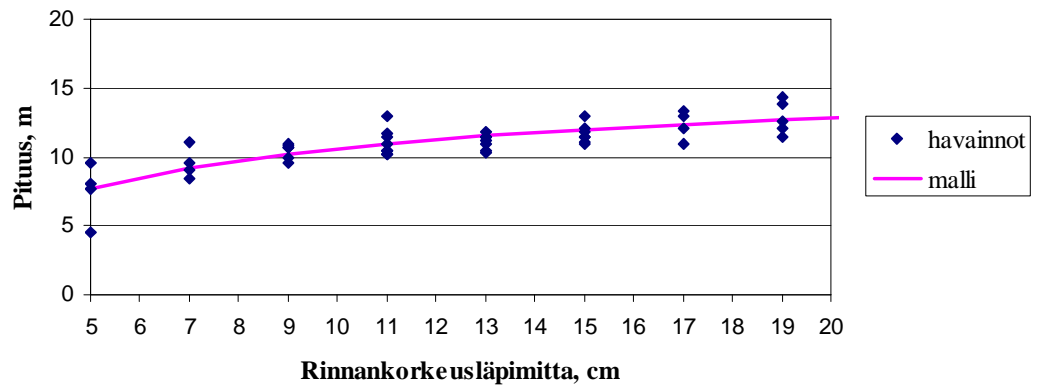
Tuottavuudet koealoilla Int1, JK1 ja YP1 suhteessa rungon kokoon (runkopuuta).



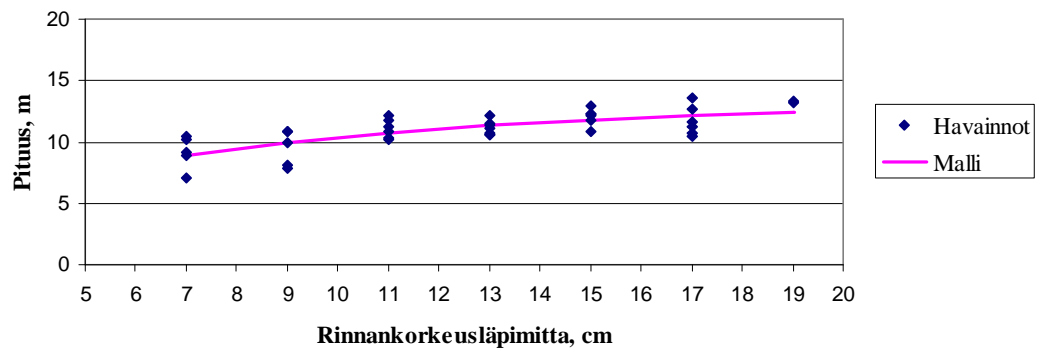
Tuottavuudet koealoilla Int2, JK2 ja YP2 suhteessa rungon kokoon (runkopuuta).



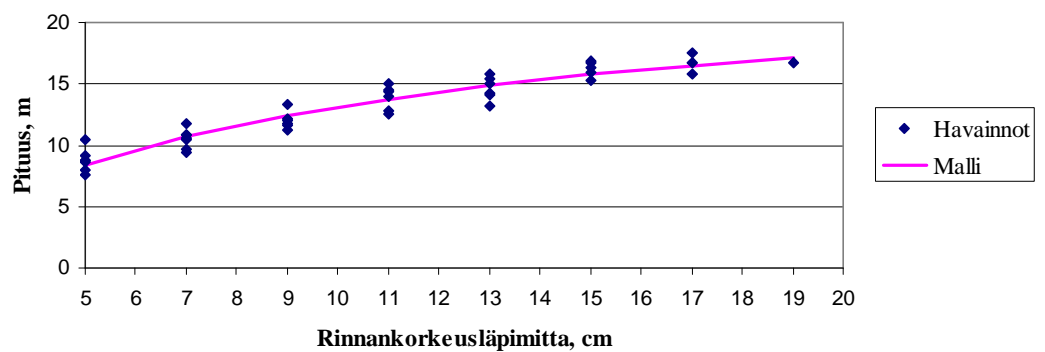
Tuottavuudet koealoilla Int3, JK3 ja YP3 suhteessa rungon kokoon (runkopuuta).

**Mänty, kuusi, koivu ja muu. Leimikot 1&2**

Männyn, kuusen, koivun sekä puulajin ”muu” pituuden suhde läpimittaan leimikoilla 1 ja 2; havainnot sekä Näslundin pituusmallilla laskettuna.

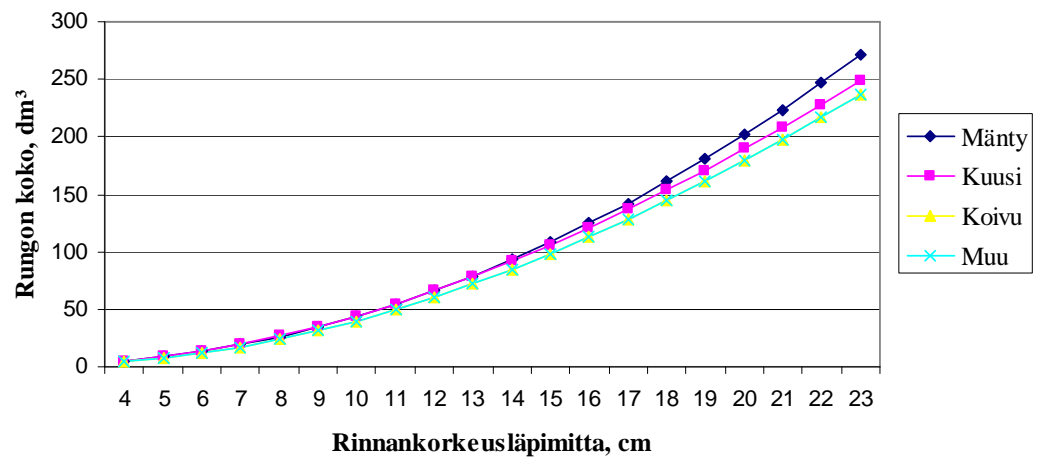
**Mänty ja kuusi. Leimikko 3**

Männyn ja kuusen pituuden suhde läpimittaan leimikolla 3; havainnot sekä Näslundin pituusmallilla laskettuna.

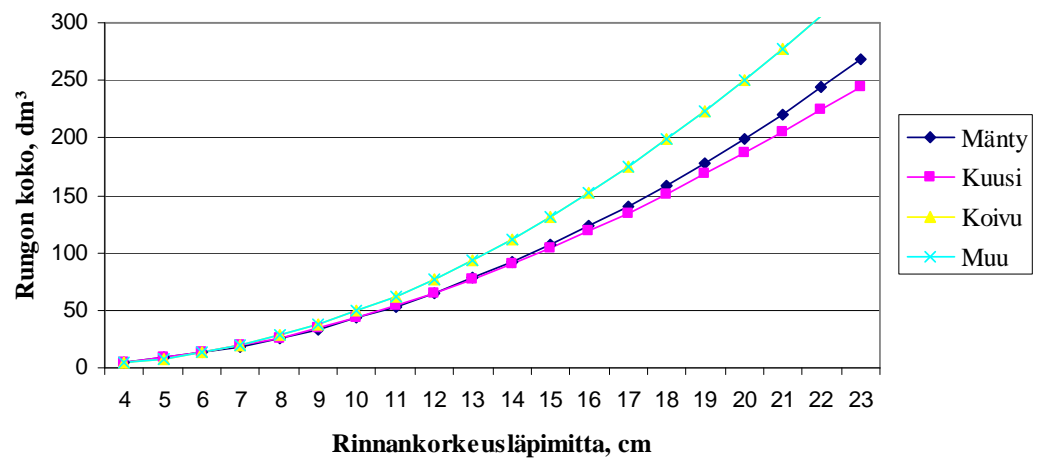
**Koivu ja muu. Leimikko 3**

Koivun ja puulajin ”muu” pituuden suhde läpimittaan leimikolla 3; havainnot sekä Näslundin pituusmallilla laskettuna.





Rungon koon (runkopuuta) suhde rinnankorkeusläpimittaan puulajeittain tutkimusleimikoilla 1 ja 2 Laasasenahon tilavuusyhtälöllä laskettuna.



Rungon koon (runkopuuta) suhde rinnankorkeusläpimittaan puulajeittain tutkimusleimikolla 3 Laasasenahon tilavuusyhtälöllä laskettuna.